Livro de Atas

Vol.01

6º Congresso Português de 'Building Information Modelling'

António Aguiar Costa · João Poças Martins · Diogo F. R. Parracho



Patrocinadores Platina







Co-organização







Comissão Organizadora Local

João Poças Martins – Universidade do Porto (FEUP)
Diogo F. R. Parracho – Universidade do Porto (FEUP)

Comissão Organizadora Nacional

João Poças Martins – Universidade do Porto (FEUP)
António Aguiar Costa – Universidade de Lisboa (IST)
Miguel Azenha – Universidade do Minho (EEUM)

Comissão Internacional

Eduardo Sampaio Nardelli – Universidade Presbiteriana Mackenzie (Brasil)
Eduardo Toledo Santos – Universidade de São Paulo (Brasil)
Emerson de Andrade Marques Ferreira – Universidade Federal da Bahia (Brasil)
Regina Ruschel – Universidade Estadual de Campinas (Brasil)
Sergio Scheer – Universidade Federal do Paraná (Brasil)
José Paulo Kai – Universidade Agostinho Neto (Angola)
Vity Nsalambi – Ordem dos Arquitetos (Angola)
Vera Cibele Neves Marques – Universidade Técnica do Atlântico (Cabo Verde)
Américo Dimande – Administração Nacional de Estradas (Moçambique)

Comissão Científica

Presidente da Comissão Científica: António Aguiar Costa – Universidade de Lisboa (IST)
Adeeb Sidani – Porto Digital
Alexandre Marques – Hilti
Alfredo Soeiro – Universidade do Porto (FEUP)
António Cabaço – LNEC
António Menezes Leitão – Universidade de Lisboa (IST)
Bárbara Rangel – Universidade do Porto (FEUP)
Bruno Figueiredo – Universidade do Minho (EAUM)
Bruno Matos – Engexpor
Carlos Dias – CD openbim
Diego Calvetti – Universidade Católica do Chile (Chile) / Universidade do Porto (FEUP)
Diogo F. R. Parracho – Universidade do Porto (FEUP)
Diogo Ribeiro – ISEP
Fernanda Rodrigues – Universidade de Aveiro
Fernando Pinho – Universidade Nova de Lisboa
Filipe Brandão – Universidade do Minho (EEUM)
Francisco Teixeira Bastos – Universidade de Lisboa (IST)
Hélder Sousa – Universidade do Minho (EEUM)
Hugo Rodrigues – Universidade de Aveiro
Idilson Nhamage – Universidade Eduardo Mondlane (Moçambique)
Inês Caetano – Universidade de Lisboa (IST)
Inês Flores-Colen – Universidade de Lisboa (IST)
Isabel Valente – Universidade do Minho (EEUM)
João Palma – Universidade de Lisboa (IST)
João Pedro Couto – Universidade do Minho (EEUM)
João Poças Martins – Universidade do Porto (FEUP)
João Vieira – Infraestruturas de Portugal
José António Ribeiro – Mota-Engil
José Carlos Lino – Universidade do Minho (EEUM)
José Dinis Silvestre – Universidade de Lisboa (IST)
José Granja – Universidade do Minho (EEUM)
José Miguel Castro – Universidade do Porto (FEUP)
José Pedro Sousa – Universidade do Porto (FAUP)
José Pinto-Faria – ISEP
José Santos – Universidade da Madeira (UMa)
Luís Jacques de Sousa – Universidade do Porto (FEUP) / BUILT CoLAB
Luís Pedro Bidarra – Norvia
Luís Ribeirinho – TPF
Luís Sanhudo – BUILT CoLAB
Luís Santos – Leica Geosystems
Luísa Gonçalves – Instituto Politécnico de Leiria
Manuel Parente – Universidade do Minho (EEUM)
Manuel Tender – ISEP / ISLA
Marcelo Giacaglia – Universidade de São Paulo (FAUUSP)
Maria João Falcão – LNEC
Maria Teresa Ferreira – Universidade de Lisboa (IST)
Mário Coelho – Instituto CCG/ZGDV
Marta Campos – Magnético
Miguel Azenha – Universidade do Minho (EEUM)
Miguel Ferraz – Universidade do Porto (FEUP)
Miguel Pires – Casais
Mohammad Darabseh – Universidade do Porto (FEUP)
Mônica Santos Salgado – Universidade Federal do Rio de Janeiro
Norberto Moura – Universidade de São Paulo (FAUUSP)
Nuno Ramos – Universidade do Porto (FEUP)
Patrícia Escórcio – Universidade da Madeira (UMa)
Paula Couto – LNEC
Paulo Costeira – Instituto Politécnico de Viseu (IPV)
Paulo Rodrigues – Quadrante
Pedro Ferreirinha – HCI
Pedro Mêda – Instituto para a Construção Sustentável (ICS)
Rafael Cabral – ISEP
Ricardo Almeida – Instituto Politécnico de Viseu (IPV)
Ricardo Codinhoto – University of Bath (Reino Unido)
Ricardo Costa – Universidade de Coimbra (FCTUC)
Ricardo Pereira Santos – ISEP
Ricardo Resende – ISCTE – Instituto Universitário de Lisboa
Rodrigo Falcão Moreira – GROUNDMOTION
Rodrigo Lameiras – Universidade de Brasília
Ruben Santos – VK Architects & Engineers (Bélgica)
Thais Soares – Universidade do Minho (EEUM)
Trayana Tankova – Delft University of Technology (Países Baixos)
Vítor Cardoso – BUILT CoLAB

Patrocinadores

Platina

BIMMS Part of CTS GROUP

GEOPALM®

ACCA SOFTWARE

Ouro

BIMit BIM Experts

claranet®

CONSTRUSOFT

DALUX

GABRIEL COUTO

infor soluções BIM

Leica Geosystems

tpf

Prata

CALEFFI Hydronic Solutions

Geolayer

TECHONIS

top cype

Institucional

Porto. GO Porto

Com o apoio de

Instituto para a Construção Sustentável

CONSTRUCT

buildingSMART Portugal

ORDEM DOS ENGENHEIROS REGIÃO NORTE

Prefácio

Desde a última edição do ptBIM, em 2024, muito se passou no domínio da gestão da informação na construção, tanto no plano nacional como internacional. E esta 6.ª edição do Congresso surge no momento certo para fazer o balanço destes desenvolvimentos.

A grande novidade nacional é, naturalmente, a aprovação da Estratégia Nacional para a Implementação da Metodologia BIM – PortugalBIM, pela Resolução do Conselho de Ministros n.º 89/2026. Este diploma surge na sequência do Decreto-Lei n.º 10/2024, que consagrou a obrigatoriedade da apresentação dos projetos de arquitetura modelados de acordo com a metodologia BIM a partir de 1 de janeiro de 2030, e dá resposta à necessidade urgente de definir o conjunto de ações e políticas que viabilizem essa transição. A Estratégia organiza-se em torno de quatro pilares – políticas públicas, normalização, tecnologia e capacitação – e estabelece metas concretas para a adoção do BIM no setor da construção. A Administração Pública assume um papel estruturante enquanto cliente, promovendo simultaneamente a formação de profissionais, o apoio a municípios e a pequenas e médias empresas, a criação de plataformas digitais e repositórios de modelos, e a integração efetiva do BIM na contratação pública. Trata-se, assim, de um instrumento estruturante para a reforma do Estado, para a coesão territorial e para a modernização do setor da construção, posicionando Portugal numa trajetória de alinhamento com os congéneres europeus mais maduros nesta matéria.

No plano internacional, esta edição é também marcada por avanços relevantes na normalização, com particular destaque para a área dos Digital Twins. Em março de 2026 foi publicada a norma EN 18162 ("Building Information Modelling (BIM) – Digital twins applied to the built environment – Concept and definitions"), a primeira norma europeia dedicada aos Digital Twins no ambiente construído. Esta publicação estabelece um quadro conceptual e terminológico comum, cria as condições para o desenvolvimento subsequente de normas que apoiem a especificação qualitativa de Digital Twins e a sua interoperabilidade com modelos BIM, e prepara o terreno para os casos de uso que virão a ser detalhados na CEN/TR 18077. Em paralelo, a série EN ISO 19650 atravessa um processo de revisão profunda: os Draft International Standard das Partes 1 e 2 foram publicados em março de 2026, com a Parte 3 a seguir-se, anunciando uma reorganização que privilegia a perspetiva do ciclo de vida completo do ativo, simplifica a terminologia e clarifica o processo de gestão da informação.

Estes desenvolvimentos não são isolados. Inscrevem-se num movimento europeu mais amplo de articulação entre a transição digital e a transição verde, a chamada Twin Transition. Esta tem vindo a afirmar-se como pilar estruturante da política industrial do setor. Esta orientação ficou particularmente clara na publicação, em maio de 2026, do segundo Handbook do EU BIM Task Group, intitulado "BIM and Twin Transition – Challenges and Opportunities for EU Public Construction Clients", que sucede ao Handbook fundacional de 2017 e que se dirige aos clientes públicos e aos decisores políticos europeus. O documento articula o BIM com métodos de avaliação ambiental como o Life-Cycle Assessment (LCA) e o quadro Level(s), e com instrumentos digitais como as Environmental Product Declarations (EPD), o Digital Product Passport (DPP), o Digital Building Logbook (DBL) e o Digital Twin, propondo estratégias de implementação com horizonte 2030. Confirma-se assim que o BIM deixou de ser um fim em si mesmo para se afirmar como o substrato digital que torna possível um setor da construção mais competitivo e sustentável.

É neste enquadramento, exigente, mas também estimulante, que se realiza o ptBIM 2026, agora na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Esta edição volta a confirmar a vitalidade da comunidade reunida em torno do Congresso, com 120 artigos publicados, um número superior ao das edições anteriores e uma participação alargada de autores, revisores e instituições, em Portugal e nos restantes países de língua portuguesa. A diversidade temática reflete a maturidade desta comunidade: do projeto à construção, da gestão de operações ao património, da inteligência artificial à automação e robótica, da interoperabilidade ao Digital Twin, da formação à inovação de processos, da sustentabilidade à industrialização da construção. Sublinha-se ainda o trabalho dedicado de mais de 70 revisores que asseguraram o processo de avaliação por pares e cuja exigência é determinante para a qualidade desta publicação.

A todos os autores, revisores, oradores convidados, membros das comissões organizadora e científica, e aos patrocinadores que viabilizaram este evento, deixamos um sincero agradecimento. O ptBIM 2026 é, mais uma vez, um testemunho coletivo do dinamismo desta comunidade e um espaço onde se reflete, se partilha e se prepara o futuro do BIM em Portugal e no espaço lusófono.

Os Editores
António Aguiar Costa
João Poças Martins
Diogo F. R. Parracho

1 2 3 4 5

Ensino, Disseminação, e Formação Profissional

O IMPACTO DA INTERNACIONALIZAÇÃO NA ADOÇÃO DO BIM PELAS EMPRESAS DO SETOR DA CONSTRUÇÃO PORTUGUESAS
Anabela Ribeiro, Olga Pereira, Mário Coelho

ADOÇÃO DO BIM EM MICRO E PEQUENAS EMPRESAS DE ARQUITETURA: DESAFIOS E TENDÊNCIAS
Catharina Moura, Marcelo Giacaglia

DIFUSÃO DO BIM NA REGIÃO DO ALGARVE
Sandra Ribeiro, Bianca Negreiros

BIM: DO ERRO AO SUCESSO
Teresa Afonso, Vasco Leónidas

BIM PARA O CURSO DE GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA: LIMITES, CONTRADIÇÕES E OPORTUNIDADES
Monica Salgado, Luciana Figueiredo, Aline Marques, Frederico Braida

ENTRE PESSOAS E PROCESSOS: DIMENSÕES CULTURAIS DA IMPLEMENTAÇÃO DO BIM NO SESC E SENAC DO RIO GRANDE DO NORTE, BRASIL
Edy Barbosa, Thayse Soares, Deyse Carvalho, Igor Linhares, Lucas Gomes, Patricia Tavares, Larissa Souza, José Neto

BUILDING INFORMATION MODELING (BIM) NO ENSINO DE ARQUITETURA: ESTUDO DE CASO EM UNIVERSIDADES BRASILEIRAS
Frederico Braida, Monica S Salgado

1 2 3 4 5

Implementação e Contratação BIM

QUANTIFICAÇÃO BIM EM FASE DE PROJETO
Gonçalo Valente

COMPETÊNCIAS BIM RELEVANTES PARA CONTRATAÇÕES PÚBLICAS: ESTUDO DE CASO
Raíssa Cruz, Mônica Salgado

A IMPLEMENTAÇÃO DO BIM NOS PROCESSOS DA GESTÃO DE PROJETOS NA CONSTRUÇÃO: UM ESTUDO BIBLIOMÉTRICO
Margarida Ferreira, Olga Pereira, Mário Coelho

O VALOR DO BIM PARA O DONO DE OBRA
Aline Hilgemberg, Filipe Lima, Sébastien Roux, Miguel Azenha

INTEGRAÇÃO DE PROCESSOS BIM, ISO 19650 E LEGISLAÇÃO BRASILEIRA NA GESTÃO DE OBRAS PÚBLICAS EDUCACIONAIS
Talita Dal´Bosco, Rui M. Lima, Miguel Azenha

METAMODELO PARA A CRIAÇÃO DO AIR - ASSET INFORMATION REQUIREMENTS DE UMA UNIDADE ASSISTENCIAL HOSPITALAR
Adriana Tonani, Camila Joko, Paula Mota

DA COORDENAÇÃO DIGITAL À COLABORAÇÃO INTEGRADA: CASO DE ESTUDO DA CONSTRUÇÃO DA NOVA SEDE DA CGD
Pedro Ferreirinha, Charles Weinfortner, Sébastien Roux, André Janeiro, Maria Antunes, Jorge Madeira

TRANSFORMING DISTRIBUTED DATA INTO REUSABLE INFORMATION: A CENTRALISED BIM STRATEGY FOR A COMMON DATA ENVIRONMENT IN THE A27 HOUTEN–HOOIPOLDER INFRASTRUCTURE PROJECT
Michiel Bienens, Vera A. Aparício, Cora Van de Poppe José O. Pedro

GESTÃO DIGITAL DA CONSTRUÇÃO NA RETOMADA DE OBRAS – ESTUDO DE CASO UNILA
Alexandre Miranda Giaimo Caraca, Rodrigo Broering Koerich, Rodrigo Ramos de Souza, Luiz Fernando Bastos Castilho, João Rafael Albuquerque Dias, Gabriel Aragão Santos, Caroline Machado de Abreu, Elias Ramos da Cruz Junior

ESTUDO PILOTO DO RESIL - PROCEDIMENTO METODOLÓGICO AUXILIADO PELO BIM PARA AVALIAR A FLEXIBILIDADE DE EDIFÍCIOS MULTIFAMILIARES
Sandra Ribeiro, Heitor Silva, Hugo Farias

COORDENAÇÃO BIM E ANÁLISE DE DADOS APLICADOS EM UMA EMPRESA DO SETOR DE VAREJO BRASILEIRO
Ítalo Santos, Melquisedeque Fragroso, Kirlia Lima, Stephan Strauß, Felipe Reis

OTIMIZAÇÃO DOS AUTOS DE MEDIÇÃO ATRAVÉS DA INTEGRAÇÃO DO BIM E DA COLABORAÇÃO EM OBRA
Maria Clara Fonseca, José Luís Granja

DIRETRIZES PARA CONTRATAÇÃO DE PROJETOS EM BIM: UMA ANÁLISE TEÓRICA E DOCUMENTAL
Nathália Pinto, Sérgio Scheer

DO PROJETO À OBRA TRADICIONAL: RESOLUÇÃO DE CONFLITOS EM PROJETOS COLABORATIVOS BIM
Manuela Timóteo, Ana Borges

1 2 3 4 5

openBIM e Interoperabilidade

PLATAFORMA BIMCER COMO REPOSITÓRIO DE OBJETOS BIM DA INDÚSTRIA CERÂMICA
Nilza Paraíba, Carlos Calças, Sílvia Vara, Paulo Soeiro, Miguel Azenha, Mohamad El Sibaii, José Granja, Pedro Roseiro

AVALIAÇÃO DAS REPRESENTAÇÕES GEOMÉTRICAS IFC NO CONTEXTO DE USD E IFC5
Tiago Ricotta, Miguel Azenha

INTEROPERABILIDADE EM MODELOS DE ANÁLISE ESTRUTURAL: ESTUDO DAS CONEXÕES ENTRE ELEMENTOS ANALÍTICOS
Isabele Castellano, José Carlos Ribeiro, Kléos César Junior, Márcio Henrique Charles, José Maria de Carvalho, Diôgo de Oliveira

VALIDAÇÃO AUTOMATIZADA DE ARQUIVOS IFC PARA GARANTIA DE QUALIDADE EM PROCESSOS OPENBIM
Lucas Gonçalves, Carlos Capanema, Sâmara Melo

BIBLIOTECA DE OBJETOS BIM PARA A AVALIAÇÃO DE CONFORTO TÉRMICO E LUMINOSO EM EDIFICAÇÕES - O ESTADO DA ARTE
Ana Luiza Onofri, Isabele Castellano, Kléos César JR, Douglas L. Souza, Carlos Eduardo R. Santos, José Maria F. Carvalho, José Carlos L. Ribeiro

SCIE EM OPENBIM: DO REGULAMENTO AO MODELO BIM VERIFICÁVEL
Jéssica Reis, Pedro Oliveira, Rui Gavina, Daniel Afonso, José Rocha
Tomás Jorge, Jorge Magalhães, Diogo Ribeiro

O OPENBIM NO DESIGN & BUILD: DA VISÃO À IMPLEMENTAÇÃO
Ricardo Simões

USO DE IDS: AVALIAÇÃO DE FLUXO DE VERIFICAÇÃO DE CONFORMIDADE COM PYTHON E BONSAI
Letícia Weijh, Eduarda Castilho, Paulo Santos, Melissa Yamada, Hugo Silva, Luís Ribeirinho

DO SIG AO BIM: UM PROCESSO INTEGRADO
Teresa Afonso, Vasco Leónidas, Tiago Martins, Carla Rebelo

MQT_BUILDER: AUTOMAÇÃO DE MAPAS DE QUANTIDADES MULTIPLATAFORMA EM FLUXOS BIM
Paulo Rodrigues, João Moura

O PAPEL DO BIM NO DESENVOLVIMENTO DE ESPAÇOS COMUNS DE DADOS PARA A CONSTRUÇÃO
Mário Coelho, José C. Lino, Isabel Borges, António Salvado

RHAM: REPRESENTAÇÃO DAS TÉCNICAS CONSTRUTIVAS TRADI-CIONAIS DO ALGARVE EM OPENBIM
Nuno Rio, Filipe Coutinho Quaresma

INTEGRAÇÃO OPENBIM E IDS NA VALIDAÇÃO AUTOMÁTICA DE REQUISITOS EM MODELOS IFC: ESTUDO DE CASO NA FIOCRUZ
Silvia Pereira, Miguel Azenha

ABORDAGEM ONTOLÓGICA PARA A VALIDAÇÃO DE PROCESSOS EM AMBIENTES COMUNS DE DADOS
João Aleixo, João Couto, Miguel Azenha

GERAÇÃO AUTOMÁTICA DE MAPAS DE QUANTIDADES E TRABALHOS A PARTIR DE IFC: PROVA DE CONCEITO BASEADA NA WBS BUILDINGSMART PORTUGAL
Andressa Oliveira, Ricardo Simões, Marta Campos, José Granja, Miguel Azenha, Ali Motamedi, José Lino

DA WBS AO MQT - O OPENBIM COMO PADRÃO PARA A EXTRAÇÃO AUTOMÁTICA DE QUANTIDADES
Marta Campos, Paula Couto, Sofia Henriques, Ricardo Simões, Andressa Oliveira

APRESENTANDO O ESQUEMA LOINxml: DISCUTINDO DECISÕES DE DESIGN E APLICAÇÃO PRETENDIDA
Martina Mellenthin Filardo, Paul Debus, Sven Zentgraf, Štefan Jaud, Christian Clemen, Ghang Lee, Jakob Beetz, André Borrmann

1 2 3 4 5

Industrialização da Construção

INTEROPERABILITY BETWEEN BIM AND ROBOTIC FABRICATION PROCESSES: A CASE STUDY APPLIED TO GENERATIVE FACADE DESIGN
Adriano Franchini, Bruno Figueiredo, Filipe Brandão, João Carvalho, Pedro Andrade

MODULIB: PLATAFORMA PARA CONCEÇÃO E INDUSTRIALIZAÇÃO DE MÓDULOS ARQUITETÓNICOS
Sofia Feist, Pedro Andrade, Margarida Amândio, Luís Sanhudo, Maria João Tomé, Vitor E.M. Cardoso, Fábio Gonçalves

TRANSIÇÃO DIGITAL NA CONSTRUÇÃO MODULAR EM MADEIRA
Pedro Santos, João Palma, António Aguiar Costa, Amílcar Arantes

MODELAÇÃO DE ARMADURAS DE BETÃO ARMADO E GERAÇÃO DE BAR BENDING SCHEDULES PARA PRÉ-FABRICAÇÃO EM AMBIENTE BIM
Bernardino Lima, António Mateus, Joana Teixeira

DIGITALIZAÇÃO PARAMÉTRICA DE UM PRODUTO INOVADOR (UTS) COM FAMÍLIAS, PDT E ROTINAS DYNAMO
Gonçalo Azevedo, Carolina Rua, Luís Sanhudo, Mohamad El Sibaii, José Granja, Miguel Azenha

FLUXO DE TRABALHO BIM PARA DIMENSIONAMENTO E PROJETOS DE CONSTRUÇÃO MODULAR
Thaís R. L. Soares, José Granja, Miguel Azenha

CONTROLO DO PROGRESSO DA MONTAGEM DE PAINÉIS SANDWICH COM O APOIO DE VISÃO COMPUTACIONAL, IA E BIM
Edgar Mendez, Nelson Silva, Diogo Ribeiro, Ricardo Santos, Pedro Oliveira

DESENVOLVIMENTO DE UMA METODOLOGIA EM BIM PARA UMA EMPRESA DE CONSTRUÇÃO PRÉ-FABRICADA
Juliana Cotarelle, Thaís R. L. Soares, Miguel Azenha

PLATAFORMA DIGITAL PARA APOIO À EXECUÇÃO DE FACHADAS EM EDIFÍCIOS INDUSTRIAIS COM APOIO DE ROBÓTICA E INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL
J. Fonseca, A. Barreiro, P. Oliveira, R. Cabral, P. Alves, D. Martinho, R. Santos, R. Garcia, N. Ferreira, L. Sanhudo, M. Couceiro, G. Marreiros, D. Ribeiro

1 2 3 4 5

Ambientes Imersivos e Sistemas Dinâmicos do Ambiente Construído

INTEGRAÇÃO BIM-RA: ABORDAGEM MARKERLESS PARA MONITORIZAÇÃO DE PROGRESSO DE OBRA EM AMBIENTE CONSTRUTIVO
Pedro Ferreira, Mário Dixo, Daniel Pereira, João N.D. Fernandes, Luís Sanhudo

O "GÉMEO DE CALIBRAÇÃO": UMA NOVA TIPOLOGIA NA MATURIDADE DOS GÉMEOS DIGITAIS
Diogo F. R. Parracho, Mohamed Nour El-Din, João Poças Martins

DIGITAL TWIN PARA O CONTROLO DAS CONDIÇÕES AMBIENTAIS DE ESPAÇOS MUSEOLÓGICOS
David Pereira, Romeu Vicente, Odete Paiva, Sónia Isidro, Ricardo Almeida

DE MODELOS BIM ESTÁTICOS A GÉMEOS DIGITAIS DINÂMICOS: UMA ABORDAGEM ABERTA E INTEROPERÁVEL
Nuno Oliveira, Hélder Silva, Vitor Cardoso, Luís Sanhudo

ATIVOS MAIS EFICIENTES COM GÉMEOS DIGITAIS: INTEGRAÇÃO BIM E OPERAÇÃO
Renata Castelo-Branco, Paulo Rodrigues, Gaspar Miranda, Samuel Santos, Bruno Oliveira

POTENCIALIZANDO A ANÁLISE DE PROJETOS COM REALIDADE VIRTUAL: REPLICABILIDADE ALÉM DE UMA ÚNICA PLATAFORMA
Luiz Otávio Martins Souza

FROM BIM TO INTERACTIVE DIGITAL TWIN: A WORKFLOW FOR INTEGRATING VIRTUAL AND PHYSICAL ENVIRONMENTS
Mujahed Mohammad Khalil Bani Mustafa, Manuel Afonso Parente, Tomo Cerovsek

INTEGRAÇÃO DIRETA DE MODELOS BIM EM MOTOR DE JOGOS OPEN SOURCE: UM LEITOR IFC PARA GODOT
Bruno Muniz, José Granja, Miguel Azenha

INTEGRAÇÃO DE SISTEMAS DE MONITORIZAÇÃO AMBIENTAL EM MODELOS BIM-FM EM EDIFÍCIOS PÚBLICOS
Marcio Mortoni Silva, João Pedro Couto

INTEGRAÇÃO DE MODELOS BIM EM REALIDADE AUMENTADA WEB: DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO COMPARATIVA DE MÉTODOS DE REGISTO ESPACIAL
J. Torcato Almeida, Mário Coelho, José Granja, Miguel Azenha

BIM PARA GESTÃO DE ATIVOS EM INFRAESTRUTURA DE SAÚDE PÚBLICA: ESTUDO DE CASO DE RESPOSTA A FALHA CRÍTICA NO CENTRO DE PESQUISA, INOVAÇÃO E VIGILÂNCIA EM COVID-19 E EMERGÊNCIAS SANITÁRIAS (CPIVCES)/ FIOCRUZ
Luiz Fernando da Silva, Ana Beatriz Alves Cuzzatti, Vinícius Peixoto Medina, Bruno Amorim de Souza

TRANSFORMAÇÃO DIGITAL NA INDÚSTRIA: BIM E REALIDADE VIRTUAL COMO VETORES ESTRATÉGICOS DE EXPANSÃO
Valter Brito, Guilherme Guignone, Wildenbergy Lucas

AUGMENTED REALITY FOR MODULAR CONSTRUCTION: A BIM DRIVEN FACTORY TO SITE WORKFLOW
Eddy Mendoza Jiménez, José L. Duarte Granja

12345

1

Ensino, Disseminação, e Formação Profissional

ptBIM

12345

O IMPACTO DA INTERNACIONALIZAÇÃO NA ADOÇÃO DO BIM PELAS EMPRESAS DO SETOR DA CONSTRUÇÃO PORTUGUESAS

Anabela Ribeiro, Olga Pereira, Mário Coelho

ptBIM

O IMPACTO DA INTERNACIONALIZAÇÃO NA ADOÇÃO DO BIM PELAS EMPRESAS DO SETOR DA CONSTRUÇÃO PORTUGUESAS

Anabela Ribeiro[(1)], Olga Pereira[(2)], Mário Coelho[(3)]

(1) Escola Superior de Tecnologia e Gestão (ESTG), Instituto Politécnico do Porto, Portugal, ID ORCID: 0009-0007-7781-1089
(2) Centro de Inovação e Investigação em Ciências Empresariais e Sistemas de Informação (CIICESI), Escola Superior de Tecnologia e Gestão (ESTG), Instituto Politécnico do Porto, Portugal, ID ORCID: 0000-0002-1428-4927
(3) Instituto CCG/ZGDV, Guimarães, ID ORCID: 0000-0002-6356-6963

Resumo
A transformação digital, como processo assente em tecnologias digitais, assume, atualmente, uma importância extremamente relevante na forma como as empresas desenvolvem os seus negócios. Permite-lhes inovar do ponto de vista dos seus processos internos, aprimorando os seus modelos de negócio e criando valor. Por seu turno, a internacionalização tem vindo a impulsionar a adoção de novas práticas e processos, assim como a necessidade de usar tecnologias inovadoras.
No contexto do setor da construção, o *Building Information Modelling* (BIM) afigura-se, dadas as suas reconhecidas vantagens como metodologia colaborativa de trabalho, como uma enorme oportunidade estratégica na resposta às exigências dos mercados internacionais.
Este trabalho tem como principal objetivo analisar em que medida o BIM e a internacionalização se relacionam. Mais concretamente, se a adoção do BIM por empresas do setor da construção portuguesas é um fator de aceleração da sua internacionalização ou se, pelo contrário, foi a sua experiência internacional que as levou a adotar BIM.
A investigação centrou-se numa abordagem mista, usando uma combinação de abordagem qualitativa, através da análise de casos de estudo e entrevistas, e quantitativa, através da elaboração e aplicação de um questionário a empresas do setor.
A informação recolhida no âmbito dos casos de estudo foi alvo de uma análise comparativa por forma a evidenciar qual o papel que a internacionalização teve na opção de adotar ou não o BIM por parte das empresas que integram o estudo, e em que condições.
No presente artigo, apresentam-se as principais conclusões da primeira fase do estudo e refletindo sobre estratégia de internacionalização das empresas de construção portuguesas e a sua interligação com a metodologia BIM.

1. Introdução

A globalização, como fenómeno de integração e interdependência mundial, incorpora, também, a internacionalização. Esta configura o processo através do qual uma empresa se expande para além das fronteiras do seu país para passar a desenvolver as suas atividades em mercados internacionais. Como parte integrante desta globalização e da crescente evolução das comunicações, a transformação tecnológica veio criar grandes transformações no ambiente empresarial [1].
A competitividade das empresas e a inovação resultam da capacidade de adaptação às rápidas mudanças que as tecnologias digitais trazem, colocando as organizações num novo nível de competição, a digital [2]. Assim, também a indústria da construção tem vindo a adaptar-se a esta evolução tecnológica, constatando as vantagens que esta pode oferecer, nomeadamente o papel que o BIM desempenha nesta transformação, num forte contexto de internacionalização [3]. O objetivo da digitalização na construção é aumentar a eficiência ao reduzir erros e custos e potenciar a interligação entre equipas. O BIM é um fator central neste processo, pois integra e permite a partilha fiável e regrada da informação do projeto entre todos os intervenientes [4].
A internacionalização assume um papel central para as empresas de construção portuguesas uma vez que lhes permite o acesso a novos mercados e oportunidades de negócio. Paralelamente, o BIM tem vindo a ganhar relevância no setor, o que torna pertinente analisar a relação entre os processos de internacionalização e a sua adoção. O objetivo deste estudo centra-se em compreender se o BIM impulsiona a internacionalização das empresas de construção nacionais ou se a experiência internacional impulsiona a sua adoção, bem como analisar o impacto dos projetos internacionais, do conhecimento adquirido e das parcerias globais em todo este processo. Num setor marcado pela fragmentação e complexidade, a competitividade é cada vez mais influenciada pela internacionalização e pela transformação digital [5]. Apesar das reconhecidas vantagens do BIM, a análise da sua relação com a internacionalização permanece pouco explorada, particularmente em Portugal [3]. Este trabalho contribui para a literatura ao aprofundar o estudo do BIM como fator de competitividade internacional. Serve ainda de apoio à tomada de decisão estratégica empresarial assim como estímulo/sustentação às políticas públicas de incentivo à adoção do BIM em Portugal.

2. Revisão da literatura

2.1 Internacionalização e transformação digital

Numa era marcadamente dominada pela globalização, a internacionalização e a transformação digital são dois conceitos que moldam a vida quotidiana dos indivíduos e das organizações.
A globalização é um conceito complexo, definido como uma unificação global que envolve um sistema económico integrado, o uso disseminado da internet e a livre circulação de ideias, informação e cultura. Visa assegurar mercados abertos e competitivos e, aliada à digitalização, tem transformado os negócios internacionais e criado novas oportunidades à escala global [6].
De entre as diversas perspetivas teóricas que tentam explicar o processo de internacionalização das empresas, esta pode ser definida como um processo gradual de aumento do envolvimento das empresas nos mercados internacionais [7] ou como o movimento geral externo das atividades de uma empresa [8]. Este processo oferece oportunidades como o acesso a novos mercados, aumento das vendas, obtenção de recursos estratégicos e ganhos de escala, mas

envolve também desafios: barreiras culturais e linguísticas, elevados custos de entrada, necessidade de adaptação e riscos políticos e legais [9].
Por outro lado, a Indústria 4.0 tem vindo a redefinir os modelos de negócio ao disponibilizar às empresas multinacionais infraestruturas tecnológicas avançadas que permitem maior integração e coordenação global [6]. A transformação digital reflete mudanças profundas na sociedade e nos negócios resultantes da adoção generalizada das tecnologias digitais [10]. Esta desempenha um papel central na internacionalização, ao promover inovação, eficiência operacional, integração de recursos e redução de custos e riscos, aumentando a probabilidade de expansão internacional [11]. Contudo, apesar das suas vantagens, também apresenta desafios relevantes, como riscos e o cumprimento das leis internacionais de cibersegurança, dificuldades de comunicação intercultural e diferenças no comportamento dos consumidores entre países [12]. Assim, tanto a internacionalização como a digitalização se mostram fundamentais no mundo dos negócios atual.
O setor da construção desempenha um papel significativo no desenvolvimento económico e é responsável por uma parte considerável do crescimento económico dos países [13]. A sua natureza estratégica gera valor ao longo de todo o ciclo de vida dos projetos, incentiva o emprego e a criação de novos serviços. O aumento da produtividade através da digitalização dos processos, pode traduzir-se em poupanças significativas, contribuindo para a recuperação económica, sobretudo na esfera pública [14].
A internacionalização e a diversificação têm um papel fundamental nos planos estratégicos das empresas, impulsionados pela globalização em virtude da crescente competitividade do ambiente económico. São diversas as motivações que levam as empresas a internacionalizar: aumentar a rentabilidade a longo prazo, garantir o retorno dos acionistas, promover a distribuição do risco, potenciar o crescimento e ultrapassar a saturação nos mercados domésticos. Por outro lado, existem também grandes desafios: diferenças culturais, sistemas políticos e económicos diversos e diferenças na legislação laboral, o que torna a gestão mais complexa e a competição ainda maior [15]. A abertura económica, como um dos principais traços da globalização, é fundamental no reforço da competitividade e no estímulo ao crescimento do setor da construção e pode ser a forma das empresas ultrapassarem algumas das limitações do mercado interno [16], aplicando-se, também, esse princípio à construção [13].
No caso de Portugal, o setor da construção desempenha um papel essencial no crescimento económico do país, sendo reconhecido como um dos motores da economia nacional, quer no que diz respeito à geração de riqueza, quer à criação de emprego [17]. É composto, maioritariamente, por pequenas e médias empresas e tem vindo a sentir mudanças significativas ao longo dos anos. Nas últimas décadas o seu crescimento não tem sido favorável o que levou muitas empresas a procurar novos mercados e outras a apostar na diversificação [18]. A expansão internacional da economia portuguesa tem vindo a sofrer uma evolução bastante positiva através do aumento significativo de empresas que têm apostado nos mercados internacionais, apesar das capacidades de expansão internacional ainda ser limitada [19]. Esta internacionalização tem vindo a intensificar-se nas últimas décadas em virtude da estagnação do mercado interno, gerando uma necessidade premente de procura de negócios em novos mercados [20]. O setor da construção civil em Portugal ocupa um lugar cimeiro entre os que mais crescem na UE (União Europeia) e está a crescer a um ritmo mais rápido do que na maioria dos outros países da UE. Nos últimos 20 anos, o setor tem demonstrado um crescimento no que respeita à internacionalização dos seus serviços devido à expansão das empresas para mercados emergentes. Fortemente orientado para os mercados externos, exportou €1,27 mil milhões em

2024, com presença em 13 mercados. Os principais destinos são Angola, França, Espanha, Bélgica e Alemanha. Destaca-se ainda a forte presença portuguesa em África, sobretudo na construção de infraestruturas fomentada pela forte ligação histórica, cultural e linguística com os países africanos lusófonos [21, 22].

2.2 A transformação digital na construção

Devido à sua complexidade e características únicas, o setor da construção tem sido historicamente pouco digitalizado. Contudo, nos últimos anos, a transformação digital tem registado avanços consideráveis, destacando a importância desta em todas as fases do ciclo de vida dos projetos [23]. A construção atravessa agora a sua própria 'revolução digital', após décadas de baixa produtividade, onde o BIM se assume como ferramenta estratégica [24].

A representação digital dos elementos construtivos tem vindo a transformar o projeto, a execução e a gestão dos ativos, num contexto de crescente globalização e atenção governamental à transformação digital [25, 26].

A implementação do BIM oferece benefícios significativos (redução de custos e erros, o aumento da produtividade, eficiência operacional, melhoria da colaboração e da gestão da informação ao longo do ciclo de vida dos projetos) [24], mas também enfrenta desafios (interoperabilidade entre softwares, resistência à mudança, estratégias organizacionais, enquadramento contratual e legal, custos elevados e necessidade de formação especializada) [27]. Ao poder ser implementado em diferentes níveis de profundidade e em várias etapas, remete-nos para o conceito de níveis de maturidade BIM, níveis estes que permitem avaliar o grau de implementação e colaboração num projeto [28]. Torna-se importante distinguir entre o BIM proprietário e o BIM aberto ou OpenBIM. O BIM proprietário utiliza formatos fechados enquanto que o OpenBIM adota formatos abertos e fluxos de trabalho universais [29].

A adoção do BIM na indústria da construção tem vindo a crescer significativamente por todo o mundo, por iniciativa governamental ou impulsionada pela indústria. Diversos países europeus têm dado passos significativos nesta implementação. Em Portugal, o Estado reconheceu a importância da transição digital, nomeadamente através do "Plano de Ação para a Transição Digital" com enfoque na transformação da Administração Pública [30]. Paralelamente, a Comissão Técnica CT197-BIM mantém uma atividade dinâmica e é responsável pela normalização no âmbito do BIM. Esta Comissão Técnica tem produzido guias relevantes para técnicos e para decisores [31]. Mais recentemente, assistimos ao lançamento da Estratégia Nacional para a Implementação da Metodologia BIM, PortugalBIM [32], que visa impulsionar a transformação digital do setor da construção em Portugal ao promover a implementação do BIM e reforçando o posicionamento do país na inovação digital.

3. Metodologia de Investigação

3.1 Enquadramento metodológico

Esta investigação adota uma abordagem metodológica mista, de natureza qualitativa e quantitativa. Neste sentido, faz-se uma combinação de análise de casos com a aplicação de um inquérito por questionário. Esta técnica permite obter uma compreensão mais profunda e ampla do fenómeno em estudo, fornecendo uma maior confiança nos resultados e conclusões. Com esta abordagem pretende-se triangular os resultados obtidos. A opção por uma metodologia mista prende-se com a intenção de explorar contextos e dinâmicas específicas que a análise de

casos nos pode fornecer, assim como identificar padrões e/ou tendências através de recolha e análise de dados quantitativos obtidos através do inquérito por questionário. A investigação será conduzida em dois estudos paralelos: o Estudo I que irá basear-se na análise de casos e o Estudo II que irá utilizar um inquérito por questionário para recolha de dados quantitativos.

3.2 Estudo I: Análise de casos

Assim, a primeira parte do estudo, correspondente à componente qualitativa, tem como base a análise de casos concretos selecionados. Esta seleção foi efetuada a partir de uma pesquisa conduzida considerando os artigos patentes nos sete livros de atas das Conferências ptBIM que ocorrem a cada dois anos, desde 2016 em Portugal. Esta conferência é o maior evento dedicado ao BIM em Portugal, pelo que se considerou a sua análise como sendo representativa do panorama nacional. Dado que a base do nosso estudo se centra na relação entre a internacionalização e o BIM, para levar a cabo esta pesquisa e seleção dos casos, definiram-se os critérios de inclusão: os artigos deveriam fazer menção à palavra "internacional" e conter evidências da relação entre internacionalização e adoção do BIM. Fez-se, então, numa primeira fase, uma pesquisa com base no termo “internacional” em cada um dos livros de atas. Desta pesquisa inicial foi possível identificar 127 artigos onde a palavra é mencionada. Destes 127 artigos, foram excluídos 65 por não irem de encontro ao objetivo do estudo ou por se mostrarem irrelevantes para o tema em análise. Posteriormente, foi efetuada uma triagem aos 62 artigos remanescentes, após leitura do resumo, introdução e conclusão de cada um deles. Esta análise originou a exclusão de 51 artigos por dificuldades em identificar uma relação clara com a temática em estudo. Desta seleção resultaram 11 artigos que foram alvo de uma análise completa por forma a identificar evidências da relação entre adoção do BIM e internacionalização. Nenhum dos artigos analisados foi excluído, tendo-se considerado todos no estudo efetuado. Pretende-se, com esta análise, obter evidências acerca de como a internacionalização e o BIM se relacionam no domínio concreto do contexto empresarial.

3.3 Análise dos dados

Os 11 artigos que fazem parte da componente qualitativa foram sujeitos a uma análise temática que nos permitiu identificar padrões relativos à predominância da relação entre internacionalização e adoção do BIM. O nosso intuito centrou-se em aferir se existem evidências de que a internacionalização impulsiona a adoção do BIM, se é o BIM que impulsiona a internacionalização. Esta análise foi norteada por um guião de análise teoricamente fundamentado, elaborado por forma a garantir uma abordagem sistemática e comparável dos casos. O guião centrou-se nas seguintes dimensões: (i) a trajetória de internacionalização das organizações (momento e motivações para a entrada em mercados internacionais e as exigências desses mercados); (ii) a trajetória de adoção do BIM (momento, motivações e o nível de implementação da metodologia); e (iii) a relação causal percebida entre ambos os processos. A comparação transversal dos casos permitiu identificar padrões de relação entre as variáveis em estudo o que possibilitou assegurar a robustez e a transparência nos resultados obtidos. No que respeita aos dados quantitativos (Estudo II), este encontra-se ainda em elaboração.

4. Resultados

Com base na análise dos artigos selecionados para o nosso estudo, é possível retirar um conjunto de conclusões sobre a relação entre os processos de internacionalização das empresas do setor da Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação (AECO) e a adoção do BIM.
Assim, existe um maior número de empresas que evidencia que a procura por novos mercados leva as empresas a munir-se desta metodologia como fator facilitador da entrada e consolidação em mercados internacionais. Esta situação verifica-se, principalmente, como forma de antecipação e formação de vantagem competitiva nos mercados onde o BIM não se encontra ainda amplamente difundido e exigido pelos clientes, reconhecendo a necessidade de modernização como forma de se manterem competitivas nos mercados internacionais. Por outro lado, a exigência de BIM por parte de alguns mercados é reconhecida como uma oportunidade para quem já utiliza esta metodologia. São exemplo disto as empresas CASAIS, CENOR e TECNOPLANO. A uniformização de processos, o aumento da eficiência, a redução de erros, melhoria da coordenação multidisciplinar e potenciação de sinergias internas são aspetos relevantes para as empresas do setor, com particular ênfase quando se tratam de projetos internacionais e, por isso, desenvolvidos à distância, e que sustentam a importância do BIM. Estes aspetos são referidos pelas empresas CASAIS, CENOR, A400 e ELEVO.
Numa análise mais detalhada, a CASAIS afirma que um processo de internacionalização estruturado é a chave do seu desenvolvimento empresarial. A forte internacionalização é vista como fator impulsionador na adoção do BIM, reconhecendo a vantagem competitiva que decorre de atuar em mercados onde esta metodologia já é exigida e de preparar os seus técnicos com competências especializadas. São três os grandes motivos apontados para a adoção do BIM: acompanhar as exigências do mercado, consciência da necessidade de evolução e como forma de potenciar sinergias internas. A TOPBIM, empresa do grupo CASAIS, é a prova de que o BIM já se afirmou no grupo. Por outro lado, a CENOR refere que a forte atividade internacional e os pedidos específicos de clientes externos impulsionam diretamente a implementação do BIM, associando-a à automatização, sistematização e aumento de eficiência dos projetos. Já a TECNOPLANO implementou BIM para responder às exigências do mercado internacional e se antecipar à evolução do mercado nacional. As oportunidades do mercado externo com requisito BIM associado foi fator impulsionador. No que concerne à A400, esta assume que a necessidade de entrar em novos mercados exigiu o reforço e sofisticação do BIM já utilizado, bem como a adoção de classificações segundo normas internacionais (e.g. Uniclass) para facilitar a integração em diversos contextos. A ELEVO, presente em cerca de 20 mercados, reconhece a necessidade de dotar-se de ferramentas exigidas internacionalmente, escolhendo um projeto na Bolívia como piloto para introduzir o BIM, o que demonstra uma ligação clara entre expansão internacional e decisão de implementação.
Contrariamente a esta perspetiva, no caso das empresas COBA e NRV, a adoção do BIM não foi catalisada pela internacionalização, uma vez que já utilizam BIM nos seus projetos, mesmo não sendo exigido pelos mercados onde estas empresas operam, mas porque reconhecem todo o potencial e benefícios que esta metodologia oferece. Manterem-se na vanguarda das mais recentes tendências tecnológicas é, para estas empresas, um passo importante na sua competitividade, na otimização dos seus processos e na oportunidade de estar presentes em mercados cada vez mais exigentes. Na COBA, a adoção do BIM é justificada pela necessidade de gerir informação do projeto de forma centralizada e pela expectativa futura da obrigatoriedade do BIM em muitos países. Como os mercados em que atua não impõem ainda

BIM, a empresa vê a aposta nesta metodologia como um importante passo na sua competitividade. Na NRV, embora exista experiência nacional e internacional e se reconheçam as tendências tecnológicas globais, muitos dos mercados onde atua não exigem BIM. A adoção do BIM é vista como uma aposta na inovação e na mudança e otimização do processo produtivo que potenciará a participação em projetos mais exigentes, sem que a internacionalização, por si só, tenha sido o principal fator impulsionador.
Foram também identificados estudos de caso, como as empresas NOZ, IMASD CONSULT, BIMMS e ENGEXPOR, que, apesar de existirem provas da sua presença internacional, não foi possível concluir qual o sentido da relação em estudo em virtude da inexistência de evidências claras. Assim, salienta-se que a NOZ, que desenvolve projetos para Portugal e Reino Unido, utiliza BIM desde o início da sua atividade. No caso do projeto apresentado pelo conjunto IMASD CONSULT + BIMMS, o BIM foi utilizado para coordenar um trabalho colaborativo internacional entre múltiplas equipas e intervenientes dispersos. Já a ENGEXPOR associa a implementação do BIM sobretudo ao aumento de eficiência e criação de vantagem competitiva por diferenciação tecnológica. A potencial expansão e diversificação do negócio, uma maior comunicação, coordenação e produtividade nos projetos são apontados como forma de alavancar a vantagem competitiva, sem ficar claro se a internacionalização já existente ou apenas a ambição futura é o fator determinante.
A análise dos artigos evidencia que o BIM é visto como um fator de competitividade internacional e que, tendencialmente, é adotado para apoiar a internacionalização das empresas ou reforçar a sua presença nos mercados internacionais. No entanto, a relação entre internacionalização e adoção do BIM não é uniforme: para um grupo maior de empresas, a internacionalização é o principal motivo da adoção do BIM e, para outras, a adoção resulta sobretudo de objetivos internos de inovação e eficiência. Existe, ainda, um outro grupo de empresas que não demonstra, de forma clara, a existência de uma relação causal entre internacionalização e BIM, sendo a sua adoção associada principalmente a ganhos operacionais e tecnológicos.

5. Conclusões

A crescente importância do papel que a internacionalização e transformação digital têm assumido no contexto empresarial atual tem colocado novas oportunidades e desafios às empresas do setor da construção. Assim, este estudo tem como objetivo analisar a relação entre a internacionalização das empresas portuguesas do setor e a adoção do BIM no sentido de dar resposta a uma lacuna identificada na literatura.
Os resultados mostram que os objetivos definidos estão a ser atingidos uma vez que a análise qualitativa, levada a cabo através do estudo de casos, demonstra que a internacionalização impulsiona a adoção do BIM. No entanto, os resultados mostram que algumas empresas adotam o BIM, de forma estratégica e com o intuito de antecipar exigências futuras, uma vez que reconhecem os benefícios que esta metodologia lhes pode oferecer: uniformização de processos, eficiência operacional e melhor coordenação dos projetos.
O presente estudo, porque analisa de uma forma integrada a relação entre internacionalização e a adoção do BIM no setor da construção em Portugal, vem acrescentar valor à literatura em virtude de ser um tema ainda pouco explorado. Ao adotar uma abordagem metodológica mista, visa-se efetuar uma análise mais aprofundada desta relação. Além do contributo académico,

pretende-se que os resultados apresentem efeitos práticos relevantes no apoio às decisões de internacionalização das empresas de construção portuguesas.
Finalmente, destacar que o estudo está ainda em curso, encontrando-se a componente quantitativa ainda em elaboração. As conclusões dessa parte do estudo permitirão aprofundar e sustentar as evidências que foram já apresentadas pela componente qualitativa. Esta é uma das limitações do estudo, uma vez que a ausência destes resultados nos impede de efetuar a triangulação efetiva dos dados de ambos os estudos. Outra limitação prende-se com o facto da análise de casos se basear apenas em artigos dos livros de atas das conferências ptBIM que, apesar de considerados representativos do panorama nacional, poderão não representar a totalidade do setor da construção português. Futuras investigações poderão passar por uma análise a outras empresas que, não sendo do setor da construção, façam parte da sua cadeia de abastecimento. Complementarmente, é nosso intuito aferir, pela análise dos dados recolhidos através do Estudo II, acerca de diversas questões que possam ter impacto na gestão da internacionalização e digitalização das empresas. Assim, futuramente, pretendemos perceber que tipo de empresa deverá priorizar BIM antes de se internacionalizar, quais as competências BIM exigidas pelos mercados onde as empresas portuguesas mais operam e perceber, também, como deverá uma empresa preparar-se digitalmente para contratos internacionais que exijam BIM. Espera-se, ainda, concluir acerca das implicações práticas da relação entre internacionalização e adoção do BIM para os diversos perfis de empresa: PME sem experiência BIM, PME com BIM incipiente e empresa com BIM avançado.

Agradecimentos
Este trabalho foi suportado por fundos nacionais da FCT – Fundação para a Ciência e Tecnologia através do projeto UIDB/04728/2025 (https://doi.org/10.54499/UID/04728/2025).
Este trabalho também foi apoiado pela FCT/MCTES no âmbito da Unidade de I&D Instituto para a Sustentabilidade e Inovação em Estruturas de Engenharia (ISISE), com as referências UID/4029/2025 (https://doi.org/10.54499/UID/04029/2025), UID/PRR/04029/2025 (https://doi.org/10.54499/UID/PRR/04029/2025) e UID/PRR2/04029/2025 (https://doi.org/10.54499/UID/PRR2/04029/2025), e no âmbito do Laboratório Associado Produção Avançada e Sistemas Inteligentes ARISE com a referência LA/P/0112/2020 (https://doi.org/10.54499/LA/P/0112/2020).

Referências

[1] H. Aghazadeh, F. Zandi, H. Amoozad Mahdiraji, and R. Sadraei, "Digital transformation and SME internationalisation: unravelling the moderated-mediation role of digital capabilities, digital resilience and digital maturity," *Journal of Enterprise Information Management*, vol. 37, no. 5, pp. 1499–1526, Sep. 2024, doi: 10.1108/JEIM-02-2023-0092.
[2] K. R. Bhandari, P. Zámborský, M. Ranta, and J. Salo, "Digitalization, internationalization, and firm performance: A resource-orchestration perspective on new OLI advantages," *International Business Review*, vol. 32, no. 4, p. 102135, Aug. 2023, doi: 10.1016/J.IBUSREV.2023.102135.
[3] M. P. Lourenço, A. Arantes, and A. A. Costa, "Barriers to Building Information Modeling (BIM) Implementation in Late-Adopting EU Countries: The Case of Portugal," *Buildings 2025*, Vol. 15, Page 1651, vol. 15, no. 10, p. 1651, May 2025, doi: 10.3390/BUILDINGS15101651.

[4] D. Aghimien, C. Aigbavboa, A. Oke, W. Thwala, and P. Moripe, "Digitalization of construction organisations - a case for digital partnering," *International Journal of Construction Management*, vol. 22, no. 10, pp. 1950–1959, 2020, doi: 10.1080/15623599.2020.1745134.

[5] M. Neffati, "Economic Growth in the Digital Era: Limits and Benefits of Globalization and Digital Transformation in KSA," *Sustainability (Switzerland)*, vol. 17, no. 9, May 2025, doi: 10.3390/SU17093893.

[6] S. Sahoo, S. Kumar, D. Mukherjee, S. Kraus, M. Dabić, and R. V. Mahto, "Internationalization via industry 4.0 technologies: application areas and future roadmap for international business," *Management Review Quarterly 2024 75:4*, vol. 75, no. 4, pp. 3443–3470, Sep. 2024, doi: 10.1007/S11301-024-00459-4.

[7] J. Johanson and J. E. Vahlne, "The internationalization process of the firm - a model ok knowledge development and increasing foreign market commitments," *International Business*, pp. 145–154, Jan. 1997, doi: 10.4324/9781315199689-9/INTERNATIONALIZATION-PROCESS-FIRM.

[8] H. Etemad, "Internationalization of small and medium-sized enterprises: a grounded theoretical framework and an overview," *Canadian Journal of Administrative Sciences*, vol. 21, no. 1, p. 1, 2004, doi: 10.1111/j.1936-4490.2004.tb00319.x(DOI).

[9] T. K. Sunčica, O. Peterka, N. Šarlija, and J. J. Strossmayer, "SMES Internationalization in Croatia: Activities, challenges and measures," *EMC Review - Economy and Market Communication Review*, vol. 22, no. 2, pp. 462–478, Mar. 2021, doi: 10.7251/EMC2102462K.

[10] D. S. Fraccastoro, D. H. Vanninen, and P. M. Gabrielsson, "Two decades of research on digitalization, entrepreneurship, and internationalization: What foundations do they provide for research on digital entrepreneurial internationalization?," *International Business Review*, vol. 34, no. 4, Aug. 2025, doi: 10.1016/J.IBUSREV.2025.102455.

[11] P. Lin, Q. Li, and K. Nübel, "Exploring the Impact of Collaboration on Competitive Advantage in Construction Groups," *Buildings*, vol. 15, no. 21, Nov. 2025, doi: 10.3390/buildings15213968.

[12] J. Dąbrowska et al., "Digital transformation, for better or worse: a critical multi-level research agenda," *R and D Management*, vol. 52, no. 5, pp. 930–954, Nov. 2022, doi: 10.1111/radm.12531.

[13] W. Niu, Z. Xu, B. Liu, and C. Liu, "Internationalization of the construction industry in the global value chain," *Technological and Economic Development of Economy*, vol. 29, no. 4, pp. 1336–1352, Aug. 2023, doi: 10.3846/TEDE.2023.19426.

[14] European Commission: Executive Agency for Small and Medium-sized Enterprises, "Calculating costs and benefits for the use of Building Information Modeling in public tenders: methodology handbook," *Publications Office*, 2021, doi: https://data.europa.eu/doi/10.2826/048648.

[15] I. M. Horta, M. Kapelko, A. Oude Lansink, and A. S. Camanho, "The impact of internationalization and diversification on construction industry performance," *International Journal of Strategic Property Management*, vol. 20, no. 2, pp. 172–183, Apr. 2016, doi: 10.3846/1648715X.2015.1123201.

[16] J. Yang, G. Cai, G. Zheng, and Q. Gu, "Firm internationalization and cost of equity: Evidence from China," *China Journal of Accounting Research*, vol. 15, no. 2, p. 100237, Jun. 2022, doi: 10.1016/J.CJAR.2022.100237.

[17] IMPIC, "Relatório do Setor da Construção em Portugal 2024," *IMPIC*, Aug. 2025.
[18] I. M. Horta, A. S. Camanho, and J. Moreira Da Costa, "Performance assessment of construction companies: A study of factors promoting financial soundness and innovation in the industry," *International Journal of Strategic Property Management*, vol. 137, no. 1, pp. 84–93, May 2012, doi: 10.1016/j.ijpe.2012.01.015.
[19] J. V. Coelho, "Non-linear internationalization processes in Portugal: Evidence across retail, construction and software development industries," *Regional Science Policy and Practice*, vol. 14, no. 3, pp. 539–559, Jun. 2022, doi: 10.1111/RSP3.12480.
[20] CCIP, "Internacionalização da construção portuguesa." Accessed: Nov. 16, 2025. [Online]. Available: https://www.ccip.pt/pt/newsletter-internacional/1217-internacionalizacao-da-construcao-portuguesa
[21] AICEP, "Revista Portugalglobal: Construção e materiais de construção," AICEP. Accessed: Jan. 23, 2026. [Online]. Available: https://portugalglobal.pt/noticias/2025/julho/revista-portugalglobal-construcao-e-materiais-de-construcao/
[22] AICEP / Portugal Global, "Portugal's construction sector is the fastest growing in the EU," Portugal Global. Accessed: Jan. 23, 2026. [Online]. Available: https://www.portugalglobal.pt/en/news/2024/august/portugal-s-construction-sector-is-the-fastest-growing-in-the-eu/
[23] K. K. Naji, M. Gunduz, F. H. Alhenzab, H. Al-Hababi, and A. H. Al-Qahtani, "A Systematic Review of the Digital Transformation of the Building Construction Industry," *IEEE Access*, vol. 12, pp. 31461–31487, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3365934.
[24] EU BIM Task Group, "Handbook for the introduction of Building Information Modelling by the European Public Sector Strategic action for construction sector performance: driving value, innovation and growth," Brussels, 2017.
[25] M. Azenha, J. P. Martins, and J. Granja, "1o Congresso Português de Building Information Modelling," 2016.
[26] A. A. Costa and M. Azenha, "2o Congresso Português de Building Information Modelling," *Zenodo*, 2018, doi: https://doi.org/10.5281/zenodo.1226766.
[27] D. Silva and A. Paio, "Digital transformation in Portuguese architecture studios: Insights from the field," *SIGraDi 2024 Proceedings Book*, 2024.
[28] Q. Malik et al., "Bimp-chart—a global decision support system for measuring bim implementation level in construction organizations," *Sustainability (Switzerland)*, vol. 13, no. 16, Aug. 2021, doi: 10.3390/su13169270.
[29] R. B. Otranto, G. M. Junior, and P. C. Pellanda, "BIM-FM integration through openBIM: Solutions for interoperability towards efficient operations," *ITcon Vol. 30*, pg. 298-318, http://www.itcon.org/2025/12, vol. 30, no. 12, pp. 298–318, Mar. 2025, doi: 10.36680/J.ITCON.2025.012.
[30] E. Mitera-Kiełbasa and K. Zima, "BIM Policy Trends in Europe: Insights from a Multi-Stage Analysis," *Applied Sciences 2024, Vol. 14*, Page 4363, vol. 14, no. 11, p. 4363, May 2024, doi: 10.3390/APP14114363.
[31] J. P. Martins, A. A. Costa, and L. Sanhudo, 3o Congresso Português de Building Information Modelling. FEUP, 2020. doi: 10.24840/978-972-752-272-9.
[32] Conselho de Ministros, "Comunicado do Conselho de Ministros de 25 de setembro de 2025 - XXV Governo Constitucional." Accessed: Jan. 16, 2026. [Online]. Available: https://www.portugal.gov.pt/pt/gc25/governo/comunicado-do-conselho-de-ministros?i=688

12345

ADOÇÃO DO BIM EM MICRO E PEQUENAS EMPRESAS DE ARQUITETURA: DESAFIOS E TENDÊNCIAS

Catharina Moura, Marcelo Giacaglia

ptBIM

ADOÇÃO DO BIM EM MICRO E PEQUENAS EMPRESAS DE ARQUITETURA: DESAFIOS E TENDÊNCIAS

Catharina Moura (1), Marcelo Giacaglia (2)

(1) Faculdade de Arquitetura e Urbanismo e de Design da Universidade de São Paulo, São Paulo, 0009-0004-0525-1519
(2) Faculdade de Arquitetura e Urbanismo e de Design da Universidade de São Paulo, São Paulo, 0000-0001-9059-7805

Resumo

O presente trabalho investiga a adoção do *Building Information Modeling* (BIM) por Micro e Pequenas Empresas (MPEs) de arquitetura e profissionais autônomos no Brasil, um segmento majoritário, porém ainda pouco explorado pela literatura, especialmente no contexto de projetos de baixa e média complexidade. Analisam-se os desafios organizacionais, contratuais e tecnológicos dessa transição, com foco na maturidade BIM, na interoperabilidade e na aplicação de práticas colaborativas. Metodologicamente, trata-se de uma investigação qualitativa e exploratória, baseada em estudo de casos múltiplos, utilizando entrevistas semiestruturadas com três escritórios de São Paulo, trianguladas por meio de questionários e análise documental. A análise dos dados seguiu o método de codificação e categorização temática. Os resultados indicam que, embora o BIM propicie ganhos expressivos de eficiência interna, sua adoção pelas MPEs é ainda parcial e enfrenta obstáculos significativos, como limitações técnicas e financeiras, carência de capacitação especializada e, de forma crítica, dificuldades na interoperabilidade e na adoção de ambientes comuns de dados para colaboração. Verificou-se uma aplicação primária da norma ABNT NBR ISO 19650-1:2022, concentrada nas fases iniciais do projeto. O trabalho visa preencher uma lacuna acadêmica e oferecer subsídios práticos para fomentar melhores práticas e políticas públicas que incentivem uma transição ao BIM mais acessível e alinhada com as realidades nacionais em projetos de diversos portes. A partir dos achados, são formuladas recomendações direcionadas tanto aos profissionais quanto a gestores públicos, ainda que a natureza do estudo seja predominantemente qualitativa.

1. Introdução

O censo realizado pelo CAU/BR no ano de 2020 [1] apontou que a maioria dos profissionais atuantes na Arquitetura e Urbanismo no Brasil são autônomos (58%) e empresários (17%), classificados como Micro e Pequenas Empresas no sistema tributário brasileiro [2][3][4].
No entanto, há escassez de pesquisas voltadas especificamente sobre a utilização do BIM pelas pequenas empresas e/ou sua aplicação a projetos de baixa complexidade [5][6], pois como pode-se notar, parte significante dos trabalhos publicados acerca do tema, abordam o uso do BIM associado a grandes projetos e obras [7][8][9][10].
O objeto desta pesquisa é a adoção do BIM por micro e pequenas empresas de arquitetura, com foco nas etapas do processo de produção, desde a contratação até a entrega da obra. Seu objetivo principal é investigar como ocorre essa adoção, analisando aspectos como o Nível de Maturidade [11][12], os usos da tecnologia, a modelagem em diferentes fases, a interoperabilidade, a colaboração e a conformidade com a norma ABNT NBR ISO 19650-1:2022 [13].
Para tanto, estabelecem-se os seguintes objetivos específicos: investigar o processo BIM em todas as etapas do projeto, considerando seus aspectos organizacionais, contratuais e tecnológicos; examinar os pontos comuns, desafios e benefícios do BIM entre as empresas pesquisadas; apurar o nível de maturidade do processo conforme a literatura de referência, e realizar um estudo de caso por meio de entrevistas com três empresas e análise comparativa de fontes diversas.

2. Referencial Teórico

2.1 BIM aplicado a pequenas empresas

A adoção do BIM por pequenas empresas enfrenta desafios devido à natureza das relações comerciais de curto prazo e foco em preço, o que pode comprometer a qualidade dos projetos pela escassez de recursos humanos e materiais, incluindo subcontratação de mão de obra [14].
No Brasil, o uso do BIM concentra-se nas fases de projeto e construção, com menor adoção na operação e manutenção, configurando um cenário com especificidades ao se tratar de pequenas empresas e projetos de menor porte. Os benefícios incluem agilidade em alterações, melhor apresentação e controle integrado do projeto, enquanto as principais dificuldades envolvem resistência cultural, falta de familiaridade com a tecnologia e os custos de treinamento e aquisição de software [15][16].
A produção avaliada [17], sugere que o tema é mais debatido no meio profissional do que no acadêmico, possivelmente indicando uma falta de estudos publicados em periódicos indexados bem como de pesquisas direcionadas especificamente para a área de arquitetura sobre a adoção do BIM, em especial, durante o final da última década.
As barreiras à adoção do BIM nas Micro e Pequenas Empresas (MPEs) podem ser agrupadas em duas categorias principais: as barreiras profissionais e operacionais, diretamente ligadas à atuação no mercado e aos processos de projeto baseados na tecnologia, e as barreiras associadas, que envolvem aspectos de gerenciamento financeiro, organizacional e comercial.
Esses obstáculos incluem, por exemplo, a escassez de mão de obra qualificada, a resistência à mudança, os problemas de comunicação e colaboração na equipe do projeto, os custos elevados (com hardware, software e capacitação) e por fim, o desconhecimento dos clientes sobre a

tecnologia. Para superá-las, os autores recomendam investimentos em capacitação, a melhoria dos fluxos de comunicação e a definição de estratégias claras para a adoção do BIM [18].

2.2 Projetos de baixa complexidade: características e desafios

O projeto de baixa complexidade constitui o tipo predominante de projetos no setor da construção civil brasileiro, caracterizando-se pelo perfil do objeto, escala do empreendimento e meios de representação. Nesse contexto, há equipe reduzida, menor participação de especialidades, e coordenação centralizada no arquiteto, aplicando-se sobretudo a obras de pequeno porte, como reformas, novas construções e projetos de interiores [19]. Tal cenário alinha-se ao mapeamento [6], que identifica as MPEs e profissionais liberais como os principais agentes neste tipo de obra.

2.3 Conceitos e definições adotados

A análise da adoção do BIM neste estudo fundamenta-se em conceitos como o de **Usos BIM**, desenvolvido por [11][20] e detalhado em guias de execução como o da *Pennsylvania State University (Penn State)* [21], que categoriza as aplicações possíveis da modelagem. Outro conceito fundamental trabalhado na presente pesquisa é o de **Nível de Desenvolvimento (LOD)**, uma especificação do *BIM Forum* [22] que define parâmetros de confiabilidade geométrica e informacional, distinguindo-se, conforme Bolpagni [23] do **Nível de Detalhamento (LOd)**, sendo este último, relacionado exclusivamente ao detalhamento gráfico. Por fim, a dimensão da **maturidade e colaboração** apoia-se em modelos como os de Succar [11], Andrade e Ruschel [12] e na norma ABNT NBR ISO 19650-1:2022 [13], que avaliam a evolução da interoperabilidade. A articulação entre esses conceitos fornece uma estrutura robusta para avaliar requisitos de modelagem em contextos diversos por meio de uma classificação bidimensional de análise de nível de maturidade. O primeiro autor [11] classifica a maturidade dos modelos BIM do Nível 0 ao 3, enquanto os segundos autores [12] aproximam-se do campo processual, enquadrando a evolução desde o BIM 1.0 até o BIM 3.0. A norma [13] complementa essa estrutura no campo das políticas ao apontar que estágios mais avançados, como o uso de modelos federados e do Ambiente Comum de Dados (CDE), ampliam os benefícios tanto nos processos tecnológicos quanto na colaboração entre os agentes.

3. Metodologia

Neste estudo, de abordagem qualitativa e exploratória [24][25][26], são realizados estudos de caso por meio de entrevistas e análise de dados comparativa com levantamento bibliográfico, documental e normativo, com vista a investigar a introdução e operacionalização do BIM nos escritórios estudados, de modo a compreender as práticas e tendências relacionadas à integração do BIM às pequenas empresas de arquitetura, sem a pretensão de universalidade ou representatividade estatística. A amostra restrita justifica-se pela natureza qualitativa da pesquisa, que prioriza a densidade analítica para investigar em profundidade fenômenos complexos de adoção tecnológica, diferentemente de um estudo quantitativo, porém sem a aferição do que é declarado pelos respondentes.

O instrumento de coleta de dados foi desenvolvido a partir da literatura [18][27], organizado em seções estruturadas nas dimensões contratual, organizacional, tecnológica e profissional, as quais serviram de base para estruturar as seções e formular as questões. O número final de participantes foi determinado com base na disponibilidade das empresas e dos pesquisadores,

bem como no tempo hábil para finalização da pesquisa. Os critérios estão sintetizados na **Tabela 1**.

Tabela 1: Critérios de Seleção das Empresas Entrevistadas

Critério	Descrição	Justificativa
Porte	Micro/pequena empresa/Autônomos	Segmento predominante no mercado [6]
Experiência BIM	≥ 2 projetos completos com BIM nos últimos 2 anos	Garantir familiaridade com a tecnologia
Localização	Região Metropolitana de São Paulo	Maior concentração de escritórios do país [28]
Tipo de projeto	>70% de projetos de baixa complexidade	Foco da pesquisa

Para as entrevistas semiestruturadas, foi utilizado roteiro, dividido em três seções, de acordo com os objetivos da pesquisa, aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da EACH-USP, por meio da Plataforma Brasil (CAAE: 79739024.5.0000.5390), assegurando o sigilo dos dados e o uso do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, dividido em três seções.

A **Seção I** analisou o processo produtivo, incluindo projetos representativos, razões para adoção do BIM, perfil das equipes e avaliação do impacto financeiro. A **Seção II** teve foco no uso da tecnologia, examinando o início da modelagem, integração entre disciplinas, fluxos de comunicação e adoção de Ambientes Comuns de Dados. Já a **Seção III**, tratou dos aspectos contratuais e de entrega, incluindo tipos de contratação, características dos clientes, gestão do processo e distribuição dos produtos finais. As entrevistas foram realizadas pela plataforma Google Meet, gravadas pelo celular dos pesquisadores, bem como foi utilizado software de redação de textos para anotações importantes conforme o percurso das entrevistas.

O escopo da análise abrangeu a troca de informações entre disciplinas, as dinâmicas contratuais e entre agentes, e a influência do uso do BIM nos processos, examinando-se suas etapas de aplicação e níveis de integração ao longo do ciclo produtivo.

A análise dos dados coletados nas entrevistas seguiu a recomendação de análise de conteúdo e discurso para captar as narrativas e significados subjacentes, considerando todos os aspectos relevantes das entrevistas, ressaltando as conexões existentes entre as partes. Ainda, a interpretação pautou-se nos princípios de clareza e acessibilidade, orientando-se pelos objetivos da pesquisa para identificar relações, padrões e tendências na adoção do BIM por micro e pequenas empresas [24][25][26]. O conteúdo completo e detalhado das entrevistas realizadas e respectivas análises encontra-se disponível em Moura (2024) [17].

As conclusões foram elaboradas como ponto de partida para investigações futuras, reconhecendo a natureza evolutiva do conhecimento científico no campo [29].

4. Resultados e Análise

4.1 Perfil dos casos estudados

Foram selecionados três escritórios que utilizam o BIM há mais de uma década em seus projetos. Esses casos apresentam diversidade operacional, com serviços e projetos de baixa a média complexidade, conforme sintetizado na **Tabela 2.**

Tabela 2: Perfil comparativo dos três escritórios

Critério	**Escritório A**	**Escritório B**	**Escritório C**
Porte	Microempresa	Microempresa	Pequena Empresa
Nº de funcionários	1 (sócio-proprietário)	2 (sócios-proprietários)	5 funcionários
Experiência BIM	15 anos	16 anos	14 anos
Tipos de serviços prestados	Projetos, obra e gerenciamento (Arquitetura)	Capacitação, gerenciamento e modelagem (Multidisciplinar)	Projetos (Arquitetura)
Metragem média anual	300 m²	10.000 m² (estimado)	50.000 m²
LOD [22] típico dos modelos avaliados	300 a 350	Conforme demanda do cliente	200 a 350
Tipo de contratante / cliente	Pessoas físicas (reforma e construção)	Pessoas físicas; Subcontratação por empresas (todos os portes) e incorporadoras	Pessoas físicas; Subcontratação por empresas de maior porte; incorporadoras

Os padrões comuns de uso do BIM entre os entrevistados incluem análise do local, modelagem de condições existentes, estimativa de custos, planejamento, detalhamento e documentação 2D/3D [11][21]. Cada escritório declara adaptar suas práticas às especificidades dos projetos. A subdivisão do modelo por pavimentos ou disciplinas é a prática mais comum para compartilhamento, devido à não adoção do BIM por complementares, o que demanda a conversão de projetos 2D para BIM pelos arquitetos.

Com foco em projetos menores e residenciais, o **Escritório A** trabalha com modelos BIM em LOD 300/350 [22], contendo informações parametrizadas e compatíveis com extração de dados em formato IFC (*Industry Foundation Classes*) [30], atendendo principalmente a usos de planejamento e quantitativos. Além de pranchas executivas de arquitetura, o memorial descritivo e os projetos complementares (instalações elétricas e hidráulicas, marcenarias, entre outros) são extraídos, codificados e tabelados diretamente do modelo BIM, fundamental para a coordenação da obra, realizada pelo próprio Escritório A.

O **Escritório B** atua em consultoria, capacitação e terceirização de modelagem para empresas e startups que buscam incorporar o BIM a fim de atender requisitos específicos de clientes. Destaca-se pela realização de diagnóstico, suporte técnico, treinamento e desenvolvimento de manuais do proprietário com realidade aumentada. É o único dos casos que utiliza CDE com todos os envolvidos.
O **Escritório C** aplica o BIM de forma abrangente, desde representação e quantificação até análise de custos e de local, em projetos de variada complexidade em LOD entre 200 e 350 [22]. Um exemplo representativo é a modelagem de um complexo poliesportivo tombado como patrimônio histórico, onde a partir do modelo BIM, foi possível gerar documentação e diagramas de usos, circulação, intervenções de demolição e construção e planejamento de terraplanagem. Tal como o Escritório A, compartilha modelos subdivididos em nuvem ou plataformas de gestão documental.

4.2 Desafios na adoção do BIM

Desafios comuns citados pelos entrevistados incluem custo, seleção e atualizações frequentes de softwares, além da escassez de mão de obra qualificada, contornada pelo Escritório B por meio de treinamentos internos. Os entrevistados também relatam que a utilização do BIM não se estende ao canteiro de obras, gerando uma ruptura entre projeto e execução, fenômeno descrito na literatura como recorrente também em grandes projetos [18][31][32][33][34][35][36]. Outros desafios mencionados são: dificuldades de comunicação com complementares, limitações na interoperabilidade e colaboração (agravadas pela qualidade da infraestrutura de internet), força de trabalho subqualificada na execução e desconhecimento do processo por clientes e pelo setor comercial. Essa desconexão crítica configura o principal entrave à aplicação integrada do BIM [31][32][34].

4.3 Nível de maturidade BIM

O nível de maturidade em BIM de um escritório pode ser mapeado a partir das características específicas adotadas em seu processo de projeto, conforme critérios da literatura [11][12][13]. A aplicação desses critérios permite analisar a evolução da prática BIM em três casos distintos:
O **Escritório A** busca autonomia ao desenvolver instrumentos de controle próprios, como *checklists* e manuais, e na extração flexível de dados não estruturados do BIM para planilhas e documentos, conforme a necessidade de cada projeto. Também possui experiência em colaboração em modelos federados multidisciplinares e integração técnica entre disciplinas complementares.
No **Escritório B**, o processo de modelagem BIM caracteriza-se pelo desenvolvimento em cocriação com o cliente, uso de CDE para gestão centralizada e compartilhamento aprimorado de informações, e fundamentação de práticas em guias e manuais de referência consolidados no setor.
O **Escritório C**, quando subcontratado por construtoras, incorporadoras ou outras empresas afins, atua com base em normas nacionais e internacionais e documentos fornecidos pelo cliente (como por exemplo, BIM *Mandate* e Plano de Execução BIM) o que permite extrair informações precisas do modelo para quantitativos e compatibilização. Essa rotina é reforçada por uma estrutura que alia ferramentas próprias (*templates, checklists*) a documentos externos para controle de qualidade.
Dessa forma, os três escritórios analisados enquadram-se no nível 2 segundo [11]; os escritórios A e C classificam-se no “BIM 1.0” e o escritório B atende parcialmente ao “BIM 2.0” conforme

[12]; e, pela norma ABNT NBR ISO 19650-1:2022 [13], os escritórios A e C correspondem respectivamente ao estágio 1 e o escritório B ao estágio 2, conforme detalhado em [17].

5. Discussão

Apesar de parte significativa dos trabalhos publicados sobre BIM estar associada a grandes projetos e obras [7][8][9][10][18][36], os casos estudados demonstram que sua aplicação também é viável e influencia positivamente o processo de produção de projetos de baixa complexidade. Contudo, esse uso prioriza a eficiência interna sobre a ampla colaboração. Além disso, o conceito de "BIM em baixa complexidade" emerge não como uma simplificação do processo de operacionalização do BIM, mas como um modelo operacional específico, onde usos seletivos como extração de quantitativos, modelagem, projeto e compatibilização, substituem a transformação processual completa. Isto contribui para teorias de adoção tecnológica ao mostrar que, em contextos de recursos escassos, a tecnologia é pautada pela resiliência operacional, conceito preconizado por Vogus e Sutcliffe [37].
Os resultados deste estudo corroboram as constatações dos autores [18][31][32] ao identificar a desconexão entre projeto e execução como um entrave persistente. No entanto, a pesquisa avança ao demonstrar como essa realidade se manifesta especificamente no contexto das micro e pequenas empresas, onde a adoção de BIM é moldada por limitações de recursos e pela busca de eficiência pontual, em contraste com a transformação integral do processo.
Estes fatores contextuais sugerem que políticas de fomento ao BIM devem considerar não apenas capacitação técnica, mas também transformações culturais e de mercado, bem como atender às necessidades específicas derivadas da capacidade projetual das MPEs.

6. Conclusão

O principal objetivo desta pesquisa foi compreender a adoção do BIM por MPEs de arquitetura no Brasil. Como resultado, realizou-se uma análise aprofundada que permitiu caracterizar aspectos como o nível de maturidade, os usos em distintas fases do projeto e os desafios relacionados à interoperabilidade e à colaboração. Contrariando expectativas, os casos estudados revelaram que pequenas empresas não se limitam a projetos simples, atuando em tipologias e portes de obra variados.
A análise com base no referencial teórico [11][12][13], classifica a maturidade BIM dos escritórios como intermediária, evidenciando que apesar do tempo de experiência prática, as empresas enfrentam barreiras que vão além do domínio técnico, como fatores culturais, econômicos e a falta de integração entre os agentes do projeto.
Quanto às contribuições, na esfera teórica, o estudo investiga o BIM no contexto das pequenas empresas e projetos de menor escala, um tema ainda escasso na literatura. Na esfera prática, fornece subsídios concretos para que profissionais aprimorem seu fluxo de trabalho e para o desenvolvimento de políticas públicas de fomento da tecnologia mais adequadas ao principal segmento da construção nacional.
As principais limitações do estudo são a restrição geográfica (três casos em São Paulo), as adaptações metodológicas impostas pela pandemia de COVID-19 (entrevistas remotas) e a falta de aprofundamento em aspectos contratuais e na perspectiva de disciplinas complementares, o que restringe a análise da colaboração e interoperabilidade.

Com base nos resultados desta pesquisa, apresentam-se recomendações práticas para profissionais, como por exemplo, a criação de redes de capacitação contínua e o desenvolvimento de metodologias próprias de padronização, como checklists e manuais internos, para mitigar a escassez de mão de obra qualificada. Para gestores públicos, recomenda-se políticas de fomento e licitações que considerem a capacidade projetual das MPEs, com programas de apoio adaptados às especificidades desse segmento.
Quanto às projeções para pesquisas futuras, identificam-se lacunas que extrapolam os dados atuais, entre os quais: analisar métodos para reduzir a desconexão entre o projeto digital e a execução física em canteiros de obras artesanais; realizar estudos com amostras regionais mais amplas para validar a transição digital no setor em escala nacional.

Referências

[1] Conselho de Arquitetura e Urbanismo do Brasil (CAU/BR), *Censo das Arquitetas e Arquitetos e Urbanistas do Brasil 2020*. Brasília, DF: CAU/BR, 2021. [Online]. Disponível em: https://caubr.gov.br/censo2020/. [Acesso em: Jan. 26, 2026].
[2] BRASIL, *Lei Complementar nº 155, de 27 de outubro de 2016*. Altera a Lei Complementar no 123, de 14 de dezembro de 2006, para reorganizar e simplificar a metodologia de apuração do imposto devido por optantes pelo Simples Nacional, 2016.
[3] BRASIL, *Lei Complementar nº 123, de 19 de dezembro de 2008*. Altera a Lei Complementar no 123, de 14 de dezembro de 2006, 2008.
[4] BRASIL, *Lei nº 14.133, de 1º de abril de 2021*. Institui a nova Lei de Licitações e Contratos Administrativos, 2021.
[5] Conselho de Arquitetura e Urbanismo do Brasil (CAU/BR), *Censo dos Arquitetos e Urbanistas do Brasil 2012*. Brasília, DF: CAU/BR, 2012.
[6] Conselho de Arquitetura e Urbanismo do Brasil (CAU/BR), *Anuário de Arquitetura e Urbanismo 2018: Os principais dados e mapas sobre o mercado de Arquitetura e Urbanismo no Brasil*. Brasília, DF: CAU/BR, 2018.
[7] C. M. Eastman, P. Teicholz, R. Sacks, and K. Liston, *Manual de BIM: Um Guia de Modelagem da Informação para Arquitetos, Engenheiros, Gerentes, Construtores e Incorporadores*. Porto Alegre: Bookman, 2014.
[8] A. I. D. B. Mainardi Neto, "*Verificação de regras para aprovação de projetos de arquitetura em BIM para estações de metrô*," M.S. thesis, Escola Politécnica, Univ. São Paulo, São Paulo, Brazil, 2016. DOI: https://doi.org/10.11606/D.3.2016.tde-24082016-075727
[9] F. R. D. Souza, "*A gestão do processo de projeto em empresas incorporadoras e construtoras*," Ph.D. dissertation, Escola Politécnica, Univ. São Paulo, São Paulo, Brazil, 2015. DOI: https://doi.org/10.11606/T.3.2016.tde-11052016-115144
[10] M. Kater and R. Ruschel, "*Avaliando a aplicabilidade de BIM para a verificação da norma de segurança contra incêndio em projeto de habitação multifamiliar*", in *Anais do XV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído*, Maceió, Brazil, 2014. DOI: https://doi.org/10.17012/entac2014.5
[11] B. Succar, "*Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders*," *Autom. Construct.*, vol. 18, no. 3, pp. 357–375, May 2009. DOI: https://doi.org/10.1016/j.autcon.2008.10.003

[12] M. L. V. X. D. Andrade and R. C. Ruschel, "*BIM: Conceitos, Cenário das Pesquisas Publicadas no Brasil e Tendências*," in *Anais do Simpósio Brasileiro de Qualidade do Projeto no Ambiente Construído*, São Carlos, Brazil, 2009. DOI: https://doi.org/10.4237/sbqp.09.166

[13] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), *NBR ISO 19650: Organização da informação acerca de trabalhos da construção - Gestão da informação usando a modelagem da informação da construção*. Rio de Janeiro, RJ: ABNT, 2022.

[14] L. M. Grilo, M. D. Peña, L. A. Santos, G. Filippi, and S. B. Melhado, "*Implementação da gestão da qualidade em empresas de projeto*," *Ambiente Construído*, vol. 3, no. 1, pp. 55–67, Apr. 2008. Disponível em : https://seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/download/3442/1856/0 [Acesso em: Jan. 26, 2026].

[15] E. S. Checcucci, A. P. C. Pereira, and A. L. Amorim, "*Uma visão da difusão e apropriação do paradigma BIM no Brasil*," *Gestão e Tecnologia de Projetos*, vol. 8, no. 1, pp. 19–39, Jan.-Jun. 2013. DOI: https://doi.org/10.4237/gtp.v1i8.232

[16] E. S. Checcucci, "*Teses e dissertações brasileiras sobre BIM: uma análise do período de 2013 a 2018*," *PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção*, vol. 10, p. e019008, 2019. DOI: https://doi.org/10.20396/parc.v10i0.8653708

[17] C. D. L. de A. Moura, "*Adoção do BIM em micro e pequenas empresas de arquitetura: desafios e tendências*," M.S. thesis, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Univ. São Paulo, São Paulo, Brazil, 2024. DOI: https://doi.org/10.11606/D.16.2024.tde-14012025-131658

[18] L. M. Sá and L. F. Silva, "Barreiras à implementação do BIM: uma análise bibliométrica acerca das pesquisas sobre a adoção do conceito no setor AEC de 2010 a 2021," *Gestão & Tecnologia de Projetos*, vol. 17, no. 2, pp. 165–194, Jun. 2022. DOI: https://doi.org/10.11606/gtp.v17i2.189870

[19] J. Bunder, "Processo de projeto arquitetônico de baixa complexidade: aprimoramento da gestão por meio da compreensão teórica e de evidências empíricas," Ph.D. dissertation, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Univ. São Paulo, São Paulo, Brazil, 2022. DOI: https://doi.org/10.11606/T.16.2022.tde-24052024-112609

[20] B. Succar, N. Saleeb, and W. Sher, "Model Uses: Foundations for a Modular Requirements Clarification Language," in *Proc. Australasian Universities Building Education (AUBEA2016)*, Cairns, Australia, Jul. 2016. [Online]. Disponível: https://www.researchgate.net/publication/303013287_Model_Uses_Foundations_for_a_Modular_Requirements_Clarification_Language. [Acesso em: Jan. 26, 2026].

[21] The Pennsylvania State University (Penn State), *Building Information Modeling Project Execution Planning Guide*, Version 2.2. State College, PA, USA: Penn State, 2019. [Online]. Disponível: https://psu.pb.unizin.org/bimprojectexecutionplanningv2x2/. [Acesso em: Jan. 26, 2026].

[22] BIMForum, *Level of Development (LOD) Specification*, BIMForum, 2023. [Online]. Disponível: https://bimforum.org/resource/lod-level-of-development-lod-specification/. [Acesso em: Jan. 26, 2026].

[23] M. Bolpagni, "The Many Faces of 'LOD'," *BIM Thinkspace*, Jul. 2016. [Online]. Disponível: https://www.bimthinkspace.com/2016/07/the-many-faces-of-lod.html. [Acesso em: Jan. 26, 2026].

[24] A. C. Gil, *Como elaborar projetos de pesquisa*, 4ª ed. São Paulo: Atlas, 2002.

[25] G. G. Serra, *Pesquisa em Arquitetura e Urbanismo - Guia Prático Para o Trabalho de Pesquisadores em Pós-graduação*, 1ª ed. São Paulo: EdUSP, 2006.
[26] R. K. Yin, *Estudo de Caso - Planejamento e Métodos*, 5ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2015.
[27] A. B. F. Oliveira, "Processo de produção integrado: aplicabilidade na construção industrializada," Ph.D. dissertation, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Univ. São Paulo, São Paulo, Brazil, 2019. DOI: https://doi.org/10.11606/T.16.2019.tde-29072019-090623
[28] Conselho de Arquitetura e Urbanismo do Brasil (CAU/BR), *Anuário de Arquitetura e Urbanismo 2019: Os principais dados e mapas sobre o mercado de Arquitetura e Urbanismo no Brasil*. Brasília, DF: CAU/BR, 2019. [Online]. Disponível: http://caubr.gov.br/wp-content/uploads/2019/06/ANU%C3%81RIO-FINAL-WEB.pdf. [Acesso em: Jan. 26, 2026].
[29] M. A. Marconi and E. M. Lakatos, *Fundamentos da metodologia científica*, 7ª ed. São Paulo: Atlas, 2003.
[30] buildingSMART, *Industry Foundation Classes (IFC)*, 2026. [Online]. Disponível: https://technical.buildingsmart.org/standards/ifc/. [Acesso em: Jan. 26, 2026].
[31] M. M. Fabricio, "*Industrialização das construções: revisão e atualização de conceitos*," *PosFAUUSP*, vol. 20, no. 33, pp. 228-248, 2013. DOI: https://doi.org/10.11606/issn.2317-2762.v20i33p228-248.
[32] A. S. Simão et al., "*Impactos da indústria 4.0 na construção civil brasileira*," *Brazilian J. Develop.*, vol. 5, no. 10, pp. 20130-20145, 2019. DOI: https://doi.org/10.34117/bjdv5n10-210.
[33] M. S. Ribeiro and C. Michalka Júnior, "*A Contribuição dos Processos Industriais de Construção para Adoção de Novas Tecnologias na Construção Civil no Brasil*," *Revista Vértices*, vol. 5, no. 3, pp. 89-108, 2003. DOI: https://doi.org/10.5935/1809-2667.20030021.
[34] R. P. Oliveira and J. A. B. Iriart, "*Representações do trabalho entre trabalhadores informais da construção civil*," *Psicologia em Estudo*, vol. 13, no. 3, pp. 437-445, Sep. 2008. DOI: https://doi.org/10.1590/S1413-73722008000300004.
[35] L. R. Costa, "*Subcontratação e informalidade na construção civil, no Brasil e na França*," *Caderno CRH*, vol. 24, no. 62, pp. 413-434, Aug. 2011. DOI: https://doi.org/10.1590/S0103-49792011000200012.
[36] M. M. Sakamori, "*Modelagem 5D (BIM) - Processo de orçamentação com estudo sobre controle de custos e valor agregado para empreendimentos de construção civil*," M.S. thesis, Univ. Federal do Paraná, Curitiba, Brazil, 2015. Disponível em: https://acervodigital.ufpr.br/xmlui/handle/1884/41394. [Acesso em: Jan. 26, 2026].
[37] T. J. Vogus and K. M. Sutcliffe, "*Organizational resilience: Towards a theory and research agenda,*" in Proc. IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, 2007, pp. 3418–3422. DOI: https://doi.org/10.1109/ICSMC.2007.4414160.

12345

DIFUSÃO DO BIM NA REGIÃO DO ALGARVE

Sandra Ribeiro, Bianca Negreiros

ptBIM

DIFUSÃO DO BIM NA REGIÃO DO ALGARVE

Sandra Ribeiro [(1)], Bianca Negreiros [(2)]

(1) UFRN, Natal, Brasil, 0000-0001-9851-1009

(2) Studioarte, Portimão, Portugal

Resumo
Em um cenário cada vez mais globalizado, o emprego do *Building Information Modeling* (BIM) na Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação do edifício (AECO) tem despertado interesse crescente entre profissionais e investigadores, devido aos seus inúmeros benefícios que se traduzem em vantagens competitivas e em melhorias ao ambiente construído. Apesar deste potencial, a implementação do BIM continua a ser um processo gradual e complexo, sobretudo quando analisado em escalas territoriais mais amplas, onde coexistem diferentes realidades organizacionais e níveis de maturidade digital distintos. Nesse contexto, o presente manuscrito visa caracterizar o estado de difusão do BIM na região do Algarve, identificando a percepção dos profissionais e das empresas. A metodologia adotada combina revisão da literatura e aplicação de um inquérito anónimo dirigido a gabinetes de projeto e construtoras sediadas na região. Os resultados obtidos alinham-se com investigações anteriores, evidenciando barreiras recorrentes, oportunidades e perspectivas de futuro. Observam-se ainda diversas motivações e variados níveis de adoção de ferramentas e processos BIM. A principal contribuição do trabalho reside em analisar uma região pouco estudada pela literatura científica, mas atualmente caracterizada por forte dinâmica construtiva, especialmente nos setores turístico e habitacional. Assim, os resultados poderão apoiar futuras investigações e subsidiar o desenvolvimento de políticas nacionais de promoção do BIM, ao clarificar percepções, maturidade e expectativas dos agentes regionais.

1. Introdução

Em um cenário cada vez mais globalizado e competitivo, o emprego do Building Information Modeling na Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação do edifício (AECO) tem despertado interesse crescente entre profissionais e investigadores, devido aos seus inúmeros benefícios que se traduzem em vantagens competitivas e em melhorias ao ambiente construído. Verificam-se ganhos na coordenação e compatibilização [1], na construtibilidade do projeto [2], no planejamento e controle da obra [3] e na redução do retrabalho durante o processo de projeto [4]. Adicionalmente, nota-se maior suporte para as decisões projetuais [5] e facilidade

para a identificação de erros de projeto [6], além de superioridades operacionais frente as ferramentas CAD [7].
O BIM destaca-se ainda pela capacidade de suas tecnologias quanto ao armazenamento, visualização, intercâmbio, processamento e geração de um volume substancial de dados, permitindo, assim, a integração com outras vertentes tecnológicas promissoras, como o Blockchain [8], Gêmeos Digitais [9], City Information Modeling [10], realidade virtual e aumentada [11], Internet das Coisas [12]. Destaca-se igualmente, por complementar os sistemas generativos que fomentam um novo paradigma na arquitetura contemporânea, designado de projeto generativo ou design generativo.
Tais benefícios têm resultado numa progressiva "adoção macro do BIM", ou seja, em escalas organizacionais mais abrangentes, como mercados, países e suas regiões. Segundo Mohamad Kassem e Bilal Succar [13], esta disseminação ocorre através de três dinâmicas: bottom-up, impulsionada por pequenas organizações que catalisam a mudança nos níveis superiores; middle-out, quando protagonizada por entidades de médio porte; e top-down, na qual o processo é conduzido por autoridades governamentais ou reguladoras por meio decisões e iniciativas, sejam elas mandatórias ou facultativas.
Considerando a dinâmica bottom-up, este estudo pretende caracterizar o estado de difusão do BIM no Algarve, região marcada recentemente pelo crescimento da construção nos setores turístico e habitacional. Para tal, realizou-se uma revisão da literatura para definir parâmetros analíticos, posteriormente transformados em questões de um inquérito único, enviado a 140 e-mails corporativos e partilhado com a Ordem dos Arquitetos, Ordem dos Engenheiros, Associação Portuguesa de Facility Management e AICCOPN. A recolha anónima permitiu analisar a perceção de gabinetes de projeto e construtoras locais.
O estudo surge da confluência do interesse profissional de uma das autoras, ligada ao BIM em Portimão, e do interesse académico da outra, em doutoramento sanduíche entre UFRN (Brasil) e Universidade de Lisboa. Ao relacionar a difusão do BIM com variáveis sociais e de mercado, a investigação preenche uma lacuna apontada por Kassem e Succar [12], identificando pontos fortes e fragilidades que podem orientar estratégias de adoção mais eficazes.

2. Investigações predecessoras em Portugal

Machado et al. [13] relatam que, a nível internacional, a difusão do BIM tinha registrado uma rápida expansão até o final da década de 2010. Todavia, referem que, embora tenham ocorrido inúmeras iniciativas nesse período por parte de empresas, organismos do Estado, universidades e associações de profissionais para discutir, disseminar e estimular o uso desta metodologia, Portugal aparentava estar numa fase relativamente atrasada, sobretudo nas regiões Centro e Alentejo. Tal pressuposto baseia-se nos resultados oriundos da aplicação de inquérito aos profissionais da AECO, que indicaram o nível de conhecimento, motivações, desafios, entraves, perspectivas para o futuro e as razões para a utilização (ou não) do BIM.
Posteriormente, Favero et al. [14] investigaram a implementação do BIM em Pequenas e Médias Empresas (PME) sediadas na Comunidade Intermunicipal de Viseu Dão-Lafões (Portugal), constituída por 14 municípios, e nas microrregiões de Pato Branco e Palmas (Paraná, Brasil). A recolha de dados foi viabilizada pela condução de um inquérito concebido para mensurar o nível de conhecimento sobre a metodologia, a sua taxa de adoção, os seus principais usos, bem como identificar as barreiras, vantagens e desvantagens percebidas pelas empresas

dessas regiões. Os autores constataram que, apesar de uma parte significativa dos inquiridos demonstrar familiaridade com o tema, existe ainda um hiato considerável até que a sua prática seja transversal à maioria dos intervenientes do setor AECO nesses territórios.

De modo semelhante aos achados de Machado et al. [13], Favero et al. [14] identificaram que os principais obstáculos residiam na falta de apoio por parte das chefias, na carência de profissionais qualificados, e no elevado investimento inicial para aquisição de software e capacitação de recursos humanos – um desafio crítico para as PME, em decorrência das suas limitações financeiras. Em vista disso, torna-se imperativo promover a conscientização sobre os benefícios estratégicos e os riscos competitivos da não adoção do BIM, bem como fomentar programas de formação especializada e acessível, em parcerias com instituições de ensino. Acresce a premência de planos de implementação BIM (BIP - BIM Implementation Plan) estruturados e progressivos, que permitam, assim, mitigar e diluir os custos e o tempo associados a esta transição.

Paralelamente, Lourenço et al. [15] elencaram as barreiras cruciais à implementação do BIM em Portugal recorrendo à revisão da literatura complementada pela avaliação da percepção de especialistas através do método Delphi e de grupo focal. O trabalho identifica quinze barreiras críticas, entre as quais se destacam a escassez de casos de estudo que evidenciem implementações bem-sucedidas, o desconhecimento relativo às potencialidades e benefícios da metodologia e a carência de profissionais dotados de competências específicas em BIM. Adicionalmente, apontam a baixa integração entre as diferentes partes interessadas e setores, a resistência cultural à mudança e a ausência de apoio estratégico por parte da gestão superior.

Considerando a fase operacional do edifício, Sampaio et al. [16] analisaram o emprego do Building Information Modeling no setor de Facility Management (FM). Para o efeito, conduziram a distribuição de inquéritos que possibilitaram diagnosticar, com base no modelo de Bew-Richards, o nível de maturidade das regiões Norte, Centro, Alentejo, Lisboa e Algarve. De modo sumário, o estudo evidenciou o atraso digital do setor face à realidade europeia, caracterizando-se ainda pelo uso predominante de software CAD e pela partilha de informação em papel ou digital, mas desprovida de um Ambiente Comum de Dados. Igualmente, o estudo explicita a necessidade de legislação específica e a existência dos mesmos entraves vistos nos trabalhos supracitados [15,14,13], tais como o custo elevado para transição digital, a falta de sensibilização das chefias, a carência de análises de custo-benefício em casos de estudo e a baixa integração entre os stakeholders. Importa salientar que os níveis de maturidade para o Algarve foram os menos expressivos.

De modo geral, as investigações mencionadas baseiam-se em inquéritos a profissionais do setor AECO e consulta a especialistas entre o final da década de 2010 e início de 2020. Os resultados indicam que, embora a implementação do BIM em Portugal esteja em crescimento, ainda se encontra numa fase inicial comparativamente a outros países europeus. Nota-se uma crescente consciencialização sobre a importância da integração entre intervenientes e setores, bem como da partilha de experiências para o avanço da metodologia. Nos contextos onde o BIM está operacional, há alta satisfação dos profissionais, que reconhecem ganhos significativos em qualidade, produtividade e coordenação, além da redução de erros, o que reforça a continuidade e os esforços de adoção.

3. Matriz de análise

Com base na revisão da literatura nacional e internacional sobre difusão e maturidade do BIM, definiram-se os parâmetros analíticos da investigação, operacionalizados num inquérito de vinte questões (dezanove fechadas e uma aberta) para captar dados quantitativos e qualitativos. O inquérito organiza-se em quatro blocos: perfil sociodemográfico e profissional; conhecimento e experiência em BIM; grau de implementação e motivações; e barreiras, benefícios e expectativas futuras relativamente à metodologia (Figura 1).

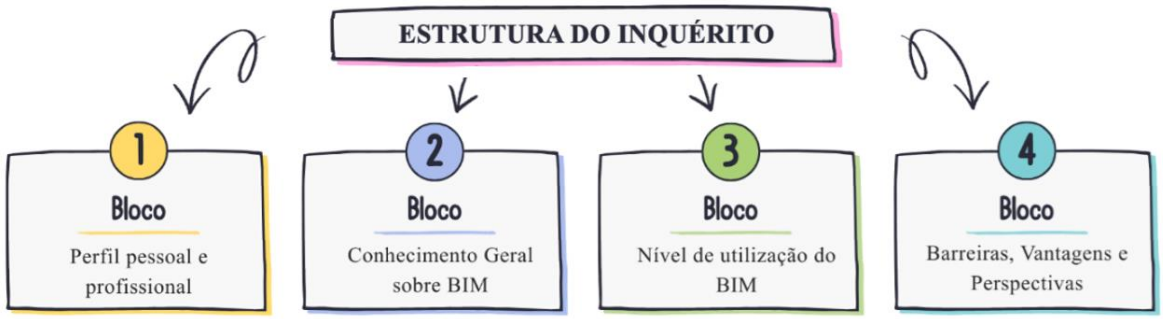


Figura 1: Estrutura do inquérito

O inquérito foi desenvolvido na plataforma Google Forms e distribuído de forma anónima e online, entre dezembro de 2025 e janeiro de 2026, a gabinetes de projeto, empresas de construção e entidades representativas do setor AECO sediadas no Algarve. Foram enviados 140 convites por correio eletrónico, contando ainda com a divulgação através da Ordem dos Arquitetos, Ordem dos Engenheiros, Associação Portuguesa de Facility Management e AICCOPN. Para consulta do inquérito, acesse: https://forms.gle/t5WLU1FbXmtyUR4u6.
A análise dos dados recorreu à estatística descritiva, permitindo identificar padrões de adoção, níveis de maturidade e perceções dos agentes regionais. Os resultados foram interpretados à luz da literatura existente, possibilitando a comparação com outras regiões portuguesas e a discussão de implicações para políticas de promoção do BIM.

4. Análise e discussão dos resultados

Ao todo foram obtidas 30 respostas, o que corresponde a um número reduzido face ao universo de profissionais e empresas atuantes na região do Algarve. No entanto, este total representa uma taxa de participação de 21%, considerando os 140 questionários enviados, valor que é aceitável em estudos exploratórios baseados em inquéritos online. Assim, apesar das limitações inerentes ao tamanho da amostra, os dados recolhidos revelam-se suficientemente representativos para identificar tendências relevantes relativas ao grau de difusão do BIM na região, devendo, contudo, os resultados ser interpretados com a devida cautela.

4.1 Bloco I

Relativamente ao perfil dos inquiridos, observa-se uma concentração geográfica em Portimão (48,3%) e Faro (13,8%), estando os restantes distribuídos, em menor proporção, por Castro

Marim, Silves, Tavira, Vila Real de Santo António, Albufeira, Olhão, Loulé e Lagos. Predomina a faixa etária entre os 36 e os 45 anos, seguida dos grupos entre os 46 e 55 anos e os 26 e 35 anos. A amostra é maioritariamente composta por indivíduos do sexo masculino (Figura 2).

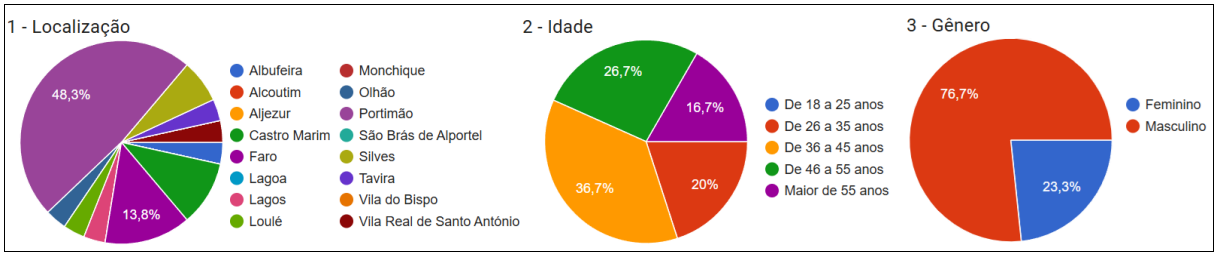


Figura 2: Distribuição geográfica e perfil pessoal

No que respeita ao setor de atividade principal, verifica-se a predominância de profissionais ligados ao Projeto de Arquitetura (76,7%), seguidos das áreas de Coordenação de Projetos (26,7%) e Reabilitação e Restauro (23,3%). As restantes áreas, incluindo Projeto de Estruturas, Instalações/Infraestruturas e Gestão e Fiscalização de Obra, apresentam menor expressão. A amostra é, assim, maioritariamente constituída por profissionais envolvidos nas fases de conceção e coordenação de projeto, contexto particularmente relevante para a análise da adoção do BIM. Quanto à situação laboral, observa-se um equilíbrio entre profissionais por conta própria (50%) e por conta de outrem (43,3%) (Figura 3).

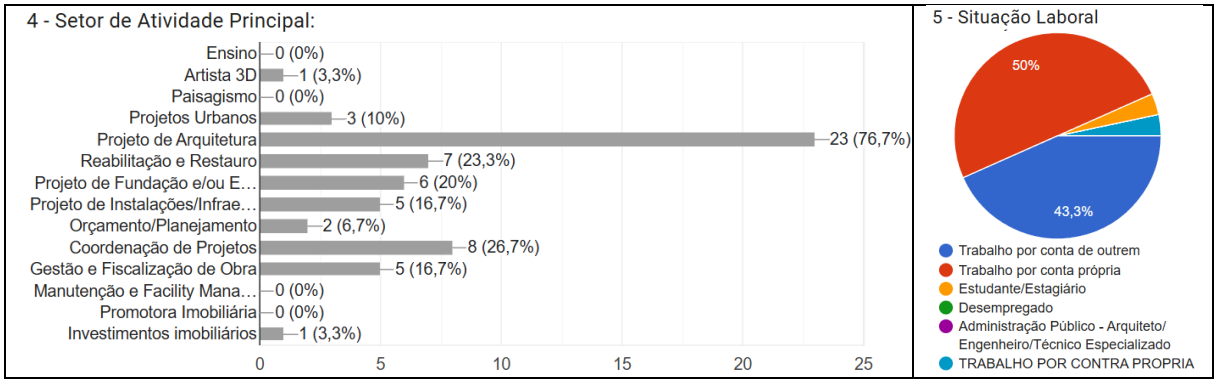


Figura 3: Perfil profissional

4.2 Bloco II

No que respeita ao conhecimento do BIM, observa-se uma elevada taxa de familiaridade, com 93,3% dos inquiridos a afirmarem conhecer esta metodologia. No entanto, apenas cerca de 63% referem trabalhar efetivamente com BIM, sendo 36,7% os que indicam não o utilizar, o que evidencia uma diferença entre conhecimento conceptual e aplicação prática.

A aquisição de competências em BIM ocorre maioritariamente por via da pesquisa independente, seguida de especialização e formação in company, refletindo percursos de aprendizagem diversificados e, em alguns casos, ausência de formação formal.

Quanto à área de experiência em BIM, destaca-se claramente a Modelação 3D (60%), seguida da Coordenação e do Planeamento, refletindo uma utilização predominantemente associada às fases iniciais do projeto. A experiência em áreas como Orçamentação, Gestão de Obra e Facility

Management é reduzida, o que indica um menor nível de maturidade na aplicação do BIM ao longo de todo o ciclo de vida do edifício (Figura 4).

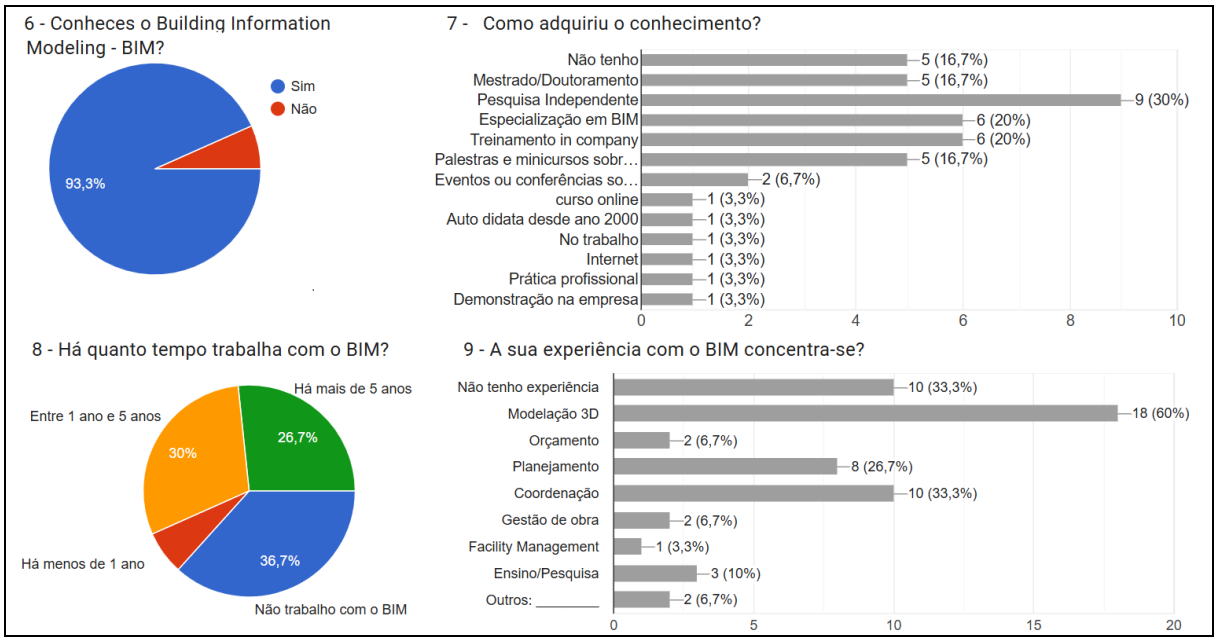


Figura 4: Conhecimento e experiência em BIM

Relativamente à tipologia de projetos desenvolvidos em BIM, observa-se uma clara predominância do setor residencial (91,3%), seguido dos projetos de Turismo/Hotelaria e Comerciais, o que reflete diretamente a estrutura económica e a dinâmica construtiva do Algarve. Esta concentração sugere que a adoção do BIM na região tem sido impulsionada sobretudo por tipologias com maior repetibilidade e exigência de coordenação, enquanto os projetos de carácter industrial e de obra civil apresentam uma expressão reduzida, indicando uma aplicação ainda limitada a determinados segmentos do mercado. (Figura 5).

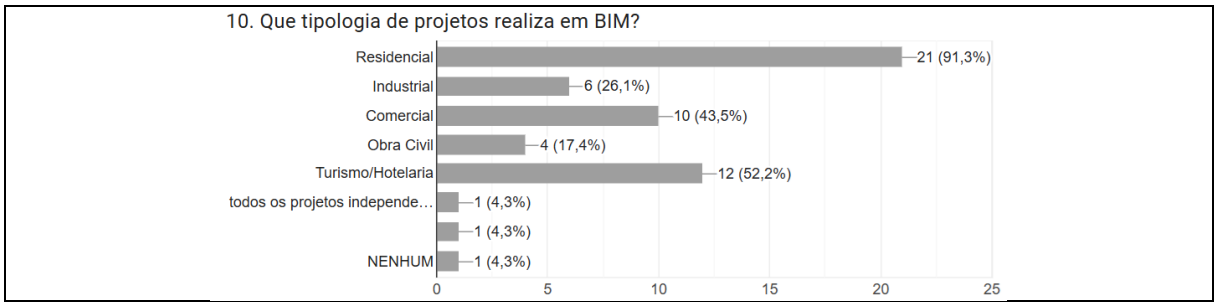


Figura 5: Tipologia de projeto em BIM

No que respeita aos softwares BIM utilizados, o Revit assume uma posição dominante, seguido do Archicad, enquanto uma percentagem significativa dos inquiridos refere não utilizar atualmente qualquer software BIM. Este resultado evidencia, por um lado, a consolidação de plataformas específicas no contexto regional e, por outro, a coexistência de níveis de maturidade distintos, nos quais a transição do CAD para o BIM ainda não se encontra plenamente concretizada (Figura 6).

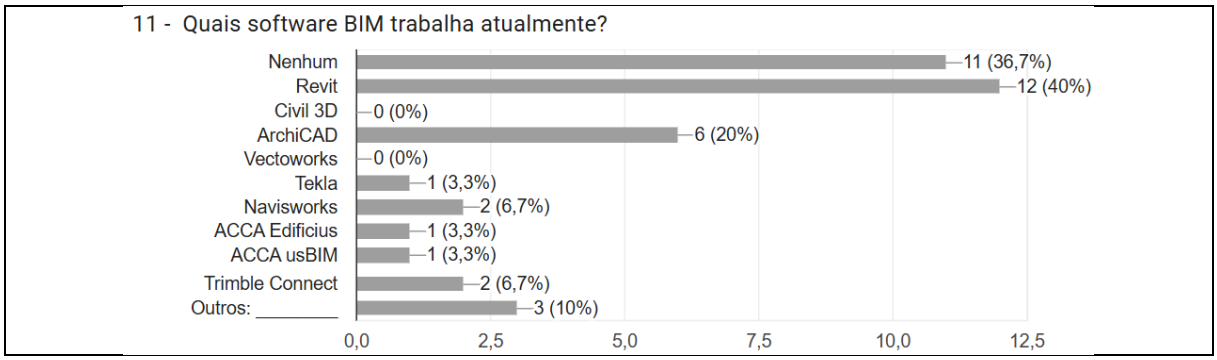


Figura 6: Tipologia de projeto em BIM e softwares de uso

4.3 Bloco III

Relativamente ao nível de competência em BIM, verifica-se que uma parte significativa dos inquiridos se posiciona nos níveis intermédio, avançado ou especialista, embora 43,3% refiram possuir um nível básico ou inexistente. Quanto à implementação do BIM nas organizações, apenas 40% indicam a sua utilização na maioria dos projetos, sendo, no entanto, significativa a intenção de adoção futura, maioritariamente a curto e médio prazo, o que demonstra uma tendência de crescimento.

No que respeita aos fatores que motivaram a implementação do BIM, destaca-se a iniciativa própria ou da equipa, seguida do objetivo de aumentar a competitividade da organização, enquanto as pressões externas assumem um papel menos relevante. (Figura 6).

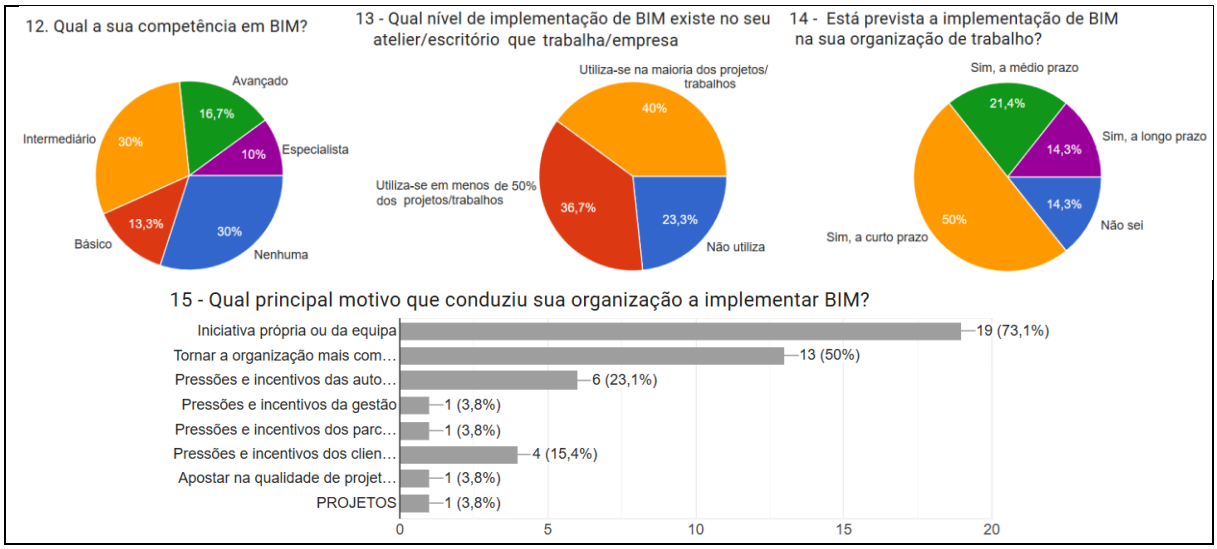


Figura 6: Nível de competência e implementação BIM

4.4 Bloco IV

Principais barreiras identificadas incluem restrições orçamentais, dificuldade na contratação de profissionais qualificados, ausência de padrões e estratégias BIM bem definidas, resistência cultural à mudança e dificuldade em representar projetos de eletricidade e ITED. Em contrapartida, os benefícios do BIM são amplamente reconhecidos, destacando-se a melhoria na coordenação e no tempo de produção, o aumento da qualidade dos projetos e a significativa redução de erros, reforçando assim a perceção positiva da metodologia (Figura 7).

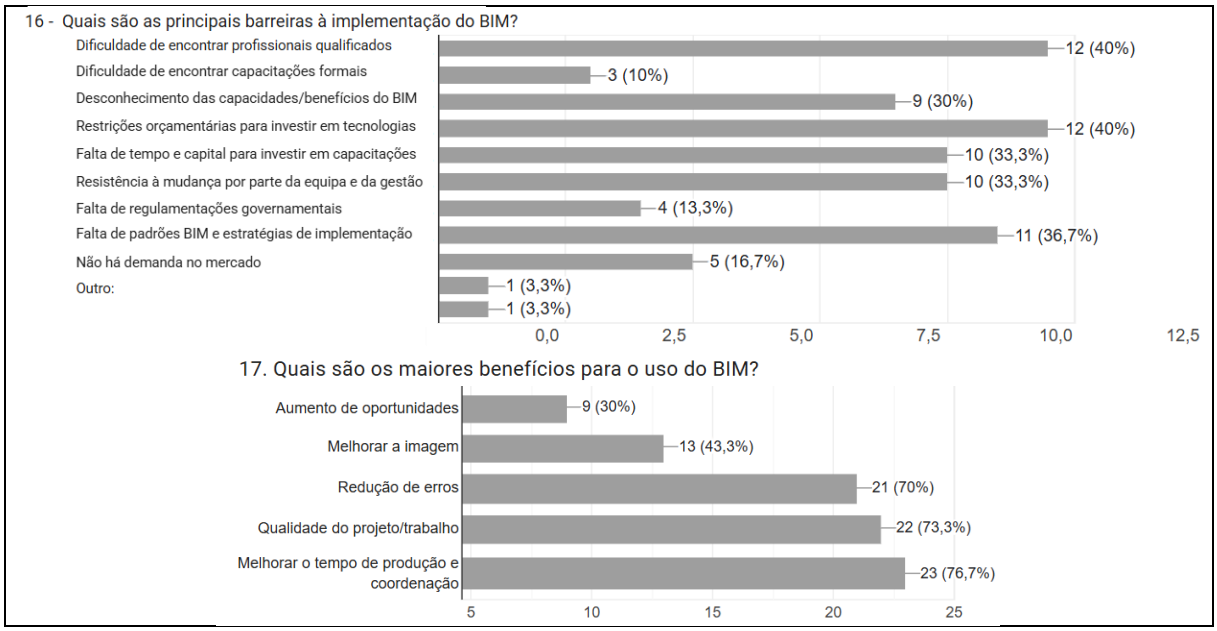


Figura 7: Barreiras a implementação e benefícios do uso de BIM

Relativamente ao nível de satisfação com o uso do BIM, verifica-se uma avaliação globalmente positiva, com 47,8% dos inquiridos a declararem-se satisfeitos e 26,1% totalmente satisfeitos, enquanto 17,4% manifestam uma posição neutra e apenas uma percentagem residual revela insatisfação. Quanto ao interesse em investir no BIM no futuro, 56,7% indicam que já implementaram e pretendem melhorar a utilização do BIM, 30% manifestam intenção de implementar, evidenciando um elevado potencial de crescimento da metodologia (Figura 8).

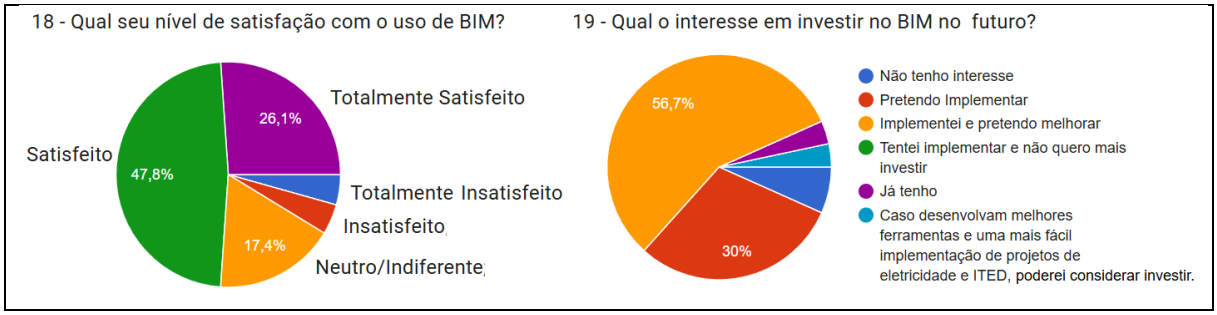


Figura 8: Nível de Satisfação e Interesse em investir em BIM

Na questão aberta, os comentários reforçam os resultados quantitativos, destacando o BIM como ferramenta que aumenta eficiência, qualidade e flexibilidade, embora os custos e a necessidade de formação contínua sejam desafios relevantes. A maioria dos inquiridos reconhece a importância da metodologia e manifesta interesse em aprimorar os seus processos. Estes resultados evidenciam a necessidade de implementar um conjunto de medidas estratégicas, designadamente: (i) sensibilizar os principais agentes do setor AECO para a importância do BIM para além da fase de projeto; (ii) estimular a qualificação dos recursos humanos; (iii) reforçar o apoio institucional; (iv) reduzir a fragmentação entre setores e agentes, promovendo a integração e a colaboração; e (v) estabelecer diretrizes e incentivos governamentais que favoreçam uma adoção mais estruturada e consistente da metodologia.

5. Considerações finais

A presente investigação cumpre o objetivo proposto ao caracterizar, sob a dinâmica bottom-up, a difusão do BIM na região do Algarve, contribuindo para mitigar uma lacuna identificada na literatura nacional. Em consonância com estudos anteriores desenvolvidos em Portugal, os resultados confirmam que a adoção do BIM se encontra em crescimento, mas ainda marcada por níveis de maturidade heterogéneos, forte concentração nas fases iniciais do projeto e aplicação limitada a determinados segmentos de mercado.

Para além da descrição do fenómeno, os resultados permitem avançar com implicações práticas. Em primeiro lugar, a predominância da iniciativa individual como motor de adoção reforça a necessidade de estratégias mais estruturadas, lideradas por organizações de média e grande escala, nomeadamente através da definição de orientações nacionais claras e da promoção de requisitos BIM em contratos públicos. Em segundo lugar, a forte dependência de aprendizagem autodidata evidencia a urgência de programas de formação contínua, acessíveis e articulados com instituições de ensino e associações profissionais. Em terceiro lugar, a baixa aplicação do BIM em fases como obra e operação sugere a necessidade de incentivar usos mais avançados, promovendo a integração ao longo do ciclo de vida do edifício.

Do ponto de vista crítico, observa-se que, apesar da perceção amplamente positiva dos benefícios do BIM, persistem barreiras estruturais já identificadas na literatura – custos de implementação, escassez de recursos qualificados e resistência organizacional – indicando uma evolução ainda gradual e pouco transformadora. Este desfasamento entre reconhecimento e aplicação efetiva constitui um dos principais entraves à consolidação da metodologia. Assim, propõem-se como caminhos para a difusão do BIM na região: (i) o reforço de políticas públicas e incentivos à adoção; (ii) a criação de redes regionais de partilha de conhecimento e de boas práticas; (iii) a promoção de casos de estudo locais que evidenciem benefícios concretos; e (iv) o desenvolvimento de guias e normas adaptadas à realidade das pequenas e médias empresas.

Em síntese, o estudo evidencia um cenário favorável à expansão do BIM no Algarve, ainda que dependente de ações coordenadas entre agentes públicos, privados e académicos. Como limitação, destaca-se a dimensão da amostra, recomendando-se a realização de estudos de acompanhamento temporal e comparativos com outras regiões, de forma a aprofundar a compreensão das dinâmicas de difusão e apoiar uma adoção mais estruturada e eficaz.

Agradecimentos
Agradecemos o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) e ao rograma de Doutorado Sanduíche no Exterior (PDSE).

Referências

[1] R. A. M. L. de Barros, L. I. Librelotto, e F. Medina, "Modelo BIM integrado gerindo o fluxo de informações no processo de projeto," *PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção*, vol. 11, p. e020010, Jul. 2020. doi: 10.20396/parc.v11i0.8655182.

[2] J. Wang *et al.*, "Building information modeling-based integration of MEP layout designs and constructability," *Automation in Construction*, vol. 61, pp. 134–146, Jan. 2016. doi: 10.1016/j.autcon.2015.10.003.

[3] C. R. da M. Bezerra e S. A. Ribeiro, "O Planejamento e a Estimativa de Custo no Ambiente de Modelagem BIM: Um Estudo de Caso," em *3º Congresso Português de Building Information Modelling*, Porto, Portugal: Universidade do Porto, 2021, pp. 103-110.
[4] S. M. S. de A. Pereira e M. C. Correia, "Implementação da abordagem e tecnologia BIM no processo de gestão na FIOCRUZ," *PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção*, vol. 10, p. e019014, Mar. 2019. doi: 10.20396/parc.v10i0.8653861.
[5] L. Logsdon e M. M. Fabrício, "Instrumentos associados de apoio ao processo de projeto de moradias sociais," *Ambiente Construído*, vol. 20, n.º 2, pp. 401–423, Jun. 2020.
[6] A. Okakpu *et al.*, "An optimisation process to motivate effective adoption of BIM for refurbishment of complex buildings in New Zealand," *Frontiers of Architectural Research*, vol. 8, n.º 4, pp. 646–661, Dec. 2019. doi: 10.1016/j.foar.2019.06.008.
[7] C. R. C. Couto *et al.*, "Análise Comparativa de Ferramentas CAD e BIM para Projetos de Instalações Elétricas," em *Anais do III Simpósio Brasileiro de Tecnologia da Informação e Comunicação na Construção*, Porto Alegre, Brasil: ANTAC, 2021.
[8] D. L. Piccoli *et al.*, "Proposta de automatização de pagamento do concreto de paredes moldadas in loco integrando BIM e Blockchain," em *IV Simpósio Brasileiro de Tecnologia da Informação e Comunicação na Construção*, Porto Alegre, Brasil: ANTAC, 2023.
[9] G. A. de S. Galvão *et al.*, "Aplicação de Gêmeos Digitais em um ambiente BIM de monitoramento de estruturas de edificações," em *IV Simpósio Brasileiro de Tecnologia da Informação e Comunicação na Construção*, Porto Alegre, Brasil: ANTAC, 2023.
[10] I. de S. J. Jaime e R. N. Blumenschein, "City Information Modeling: Desenvolvimento de Processos para uma gestão urbana inteligente," em *IV Simpósio Brasileiro de Tecnologia da Informação e Comunicação na Construção*, Porto Alegre, Brasil: ANTAC, 2023.
[11] G. L. da Silva e N. J. Groetelaars, "Uso de modelos BIM em realidade virtual e aumentada: panorama de aplicações e ferramentas," em *III Simpósio Brasileiro de Tecnologia da Informação e Comunicação na Construção*, Porto Alegre, Brasil: ANTAC, 2021.
[12] F. A. Machado e R. C. Ruschel, "Implementação de solução BIM/IoT para suporte à gestão de energia da edificação," em *II Simpósio Brasileiro de Tecnologia da Informação e Comunicação na Construção*, Porto Alegre, Brasil: ANTAC, 2019.
[13] M. Kassem e B. Succar, "Macro BIM adoption: Comparative market analysis," *Automation in Construction*, vol. 81, pp. 286–299, Sep. 2017. doi: 10.1016/j.autcon.2017.04.005.
[14] P. Machado, P. Romano, e P. Lopes, "Estudo sobre a implementação da metodologia BIM (building information modeling) nas regiões Centro e Alentejo de Portugal," *Egitania Sciencia*, n.º 28, pp. 9-31, 2021. doi: https://doi.org/10.46691/es.v1i28.90
[13] J. L. Favero, H. P. Benetti, e P. C. Silva, "Avaliação da implementação do BIM em PME das Regiões Interiores de Portugal e do Brasil," em *5º Congresso Português de Building Information Modelling*, Vol. 2, Guimarães, Portugal: Universidade do Minho, 2024, pp. 343-354. doi: 10.21814/uminho.ed.164.28.
[15] M. Lourenço, A. A. Costa, e A. Arantes, "Barreiras à implementação do BIM em Portugal," em *5º Congresso Português de Building Information Modelling*, Vol. 2, Guimarães, Portugal: Universidade do Minho, 2024, pp. 377-388. doi: 10.21814/uminho.ed.164.31.
[16] R. P. Sampaio *et al.*, "O nível de maturidade digital BIM no setor de Facility Management em Portugal," em *5º Congresso Português de Building Information Modelling*, Guimarães, Portugal: Universidade do Minho, 2024, pp. 385-395. doi: 10.21814/uminho.ed.142.34.

12345

BIM: DO ERRO AO SUCESSO

Teresa Afonso, Vasco Leónidas

ptBIM

BIM: DO ERRO AO SUCESSO

Teresa Afonso [(1)], Vasco Leónidas [(2)]

(1) BIMit | BIM Experts, Paço de Arcos
(2) BIMit | BIM Experts, Paço de Arcos

Resumo
O artigo proposto analisa os padrões de insucesso e as estratégias de sucesso na implementação do BIM em empresas portuguesas do sector AEC, sob a perspetiva de uma entidade consultora especializada com experiência direta na gestão destes processos.
A partir do acompanhamento de diversas empresas (gabinetes de arquitetura, engenharia, construtores, promotores e donos de obra), identificam-se as principais causas que dificultam a transição para o BIM: resistência cultural dos colaboradores, falta de apoio da direção, ausência de um plano estratégico, formação inadequada ou centrada apenas nas ferramentas, expectativas irrealistas quanto ao tempo e esforço necessários e subestimação do impacto da mudança nos processos internos e nas relações com parceiros externos.
Simultaneamente, são apresentadas as estratégias que se revelaram determinantes para alcançar implementações bem-sucedidas: envolvimento ativo da administração desde o primeiro momento, definição de objetivos claros e realistas, elaboração de planos de execução ajustados a cada realidade empresarial, formação orientada para processos e não apenas para software, abordagem faseada e continuada.
O trabalho conclui que o sucesso da implementação do BIM depende muito menos da tecnologia em si e muito mais da capacidade de gerir, de forma profunda e adaptada às características específicas de cada empresa, a mudança organizacional e humana que o processo necessariamente implica.

1. Introdução

No universo de clientes da BIMit | BIM Experts, empresa especialista em implementação e consultoria BIM (BIMit), foram selecionados exclusivamente aqueles que usufruíram de serviços de implementação e consultoria. O objetivo deste artigo é analisar o processo evolutivo e identificar as dinâmicas e padrões que ditaram o sucesso ou insucesso das implementações. Para tal, o artigo apresenta primeiro os dados da amostra, seguidos de uma discussão sobre desafios práticos e recomendações estratégicas.
A metodologia de análise baseou-se na codificação de dados recolhidos durante o processo de implementação e posterior consultoria, cruzando fatores como a dimensão da equipa e o tempo de apoio com o resultado final. O critério de "sucesso" foi definido pela integração total do BIM no fluxo de trabalho sem regredir, retornando ao CAD após o período de acompanhamento.

2. Caracterização da Amostra

A amostra é constituída por 33 clientes de diversas áreas da indústria (conforme a Tabela 1), destacando-se uma maior representatividade no sector da arquitetura.

Tabela 1: Áreas da Indústrias das Empresas em estudo.

Áreas	**Nº de Empresas**
Arquitetura	9
Arquitetura + Construtora + Dono de Obra	1
Arquitetura + Engenharia	1
Arquitetura + Engenharia + Construtora	2
Arquitetura + Interiores	3
Arquitetura + Promotor	1
Dono de Obra	5
Engenharia	4
Paisagismo	4
Topografia	3

As empresas analisadas, apresentam um tempo de atividade que varia entre os 5 e os 45 anos (média de 20 anos) e equipas que oscilam entre 5 e 150 colaboradores (média de 20). Relativamente ao perfil demográfico, os colaboradores apresentam uma idade mínima média de 26 anos e uma idade máxima média de 52 anos.
A informação foi recolhida durante os anos de atividade de consultoria e compilada em suporte digital (XLSX), servindo de base para a análise de dados e extração de conclusões. Foi também tida em conta a experiência da equipa de trabalho envolvida nos processos de implementação e os *inputs* dos colaboradores das empresas.

3. Dados

3.1 Motivos de Desistência

Dos 33 casos analisados, 24 empresas implementaram efetivamente a metodologia BIM. Os restantes 8 casos interromperam o processo por diversos motivos, nomeadamente: Falta de capacidade financeira (3); Inexistência de recursos humanos habilitados (1); Falta de reconhecimento das mais-valias por parte da gerência (1); Falta de interesse dos colaboradores na transição (3). É importante notar que estes fatores de resistência não foram exclusivos dos casos de insucesso, tendo se manifestado também em empresas que implementaram o BIM com sucesso, embora de forma menos expressiva ou sendo geridos de forma mais resiliente, o que demonstra que estes obstáculos, são desafios intrínsecos ao sector, independentemente do resultado final do processo.

3.2 Idade da Empresa

Os casos de insucesso na implementação de novas metodologias tendem a concentrar-se em empresas com 10 a 15 anos de atividade. Esta vulnerabilidade justifica-se pelo facto destas estruturas serem simultaneamente "jovens" o suficiente para carecerem de uma estabilidade interna que sustente a mudança, e "maduras" o suficiente para possuírem processos consolidados que oferecem resistência à inovação.

Ao contrário deste grupo, as empresas recém-criadas beneficiam da oportunidade de estruturar os fluxos de trabalho nativamente em BIM desde o início. Por outro lado, as empresas mais antigas tendem a enfrentar esta transição como uma evolução natural do seu percurso histórico, comparando-a à transição tecnológica anterior, a passagem do desenho à mão para o CAD.

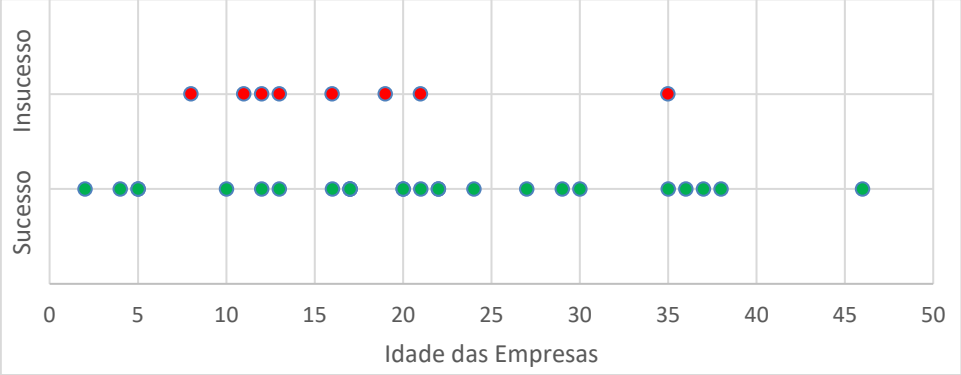


Figura 1: Idade das Empresas VS Sucesso ou Insucesso.

3.3 Idade dos Colaboradores

De acordo com a análise dos dados, não se verificou uma relação estatisticamente relevante entre a idade dos colaboradores e o sucesso na implementação da metodologia BIM. Os resultados sugerem que a eficácia desta transição não é determinada pelo fator geracional, mas sim pela forma de pensar, "*mindset",* organizacional e individual. Conclui-se, portanto, que a predisposição para a mudança e a flexibilidade cognitiva se sobrepõem à idade como variáveis relevantes no processo.

Tabela 2: Idade média dos colaboradores VS Sucesso ou Insucesso.

Resultado	**Idade Mínima Média**	**Idade Máxima Média**
Positivo	25,5	51,9
Negativo	27,3	51,4

3.4 Dimensão das Equipas

Os dados indicam que as equipas de maior dimensão apresentam, em média, uma probabilidade superior de implementar com sucesso a metodologia BIM. Este fenómeno poderá estar relacionado com a robustez financeira e a capacidade de investimento características das empresas de maior escala, que dispõem de recursos mais vastos para suportar os encargos iniciais da reestruturação.

Importa sublinhar que o investimento preponderante não reside estritamente na aquisição de software e hardware, mas sim no tempo alocado à formação especializada e ao desenvolvimento

de novos processos internos. Este investimento temporal traduz-se num custo financeiro indireto significativo, que poderá não ser comportável para estruturas empresariais de menor dimensão ou com menor liquidez.

Tabela 3: Número médio de colaboradores VS Sucesso ou Insucesso.

Resultado	**Número Médio de Colaboradores**
Positivo	23,2
Negativo	9,1

3.5 Tempo de Implementação e Consultoria

No que se refere ao impacto da duração do período inicial de implementação nos resultados obtidos, não foi possível identificar um padrão linear imediato. Devido, em parte, à metodologia adotada, que estabelece genericamente um período inicial de três meses para uma fase de trabalho intensivo.

Contudo, observou-se que as empresas que optaram por prolongar o acompanhamento de consultoria apresentaram resultados qualitativamente superiores. Este sucesso incremental é indissociável de um maior tempo de maturação dos processos e de uma consolidação mais profunda do conhecimento técnico, permitindo que a transição metodológica fosse absorvida de forma mais resiliente pelas equipas.

Tabela 4: Duração média da Implementação VS Sucesso ou Insucesso

Resultado	**Duração Implementação** (meses)	**Duração Consultoria** (meses)
Positivo	3	15,1
Negativo	3	3,0

3.6 Projeto-piloto

A análise dos dados permitiu identificar a execução de um projeto-piloto como um fator determinante para o êxito da implementação. Conforme ilustrado na tabela infra, verifica-se uma correlação total entre o sucesso do processo e a adoção desta estratégia em todos os casos analisados.

A definição de "projeto-piloto", deve ser lida como o desenvolvimento de pelo menos um projeto real em curso simultaneamente ao período de implementação. Esta abordagem revela-se crítica, pois obriga a que as equipas se deparem com desafios práticos em ambiente real, forçando a definição rigorosa de protocolos e a consolidação de processos de trabalho que, de outra forma, permaneceriam na teoria.

Tabela 5: Projeto-piloto VS Sucesso ou Insucesso.

Resultado	**Implementação com Projeto-piloto**	**Implementação sem Projeto-piloto**
Positivo	24	0
Negativo	3	5

3.7 Evolução da Maturidade BIM

Outro dado analisado, embora pouco conclusivo na análise dos fatores que levam ao sucesso da implementação BIM, mas relevante na avaliação do estado de arte da amostra, e na avaliação da evolução, foi a maturidade BIM, atribuída de acordo com a norma internacional resumida na tabela apresentada.

Tabela 6: Níveis de Maturidade BIM.

Nível de Maturidade BIM	**Descrição**
0	CAD
1	Combinação CAD e Modelos 3D
2	BIM Colaborativo
3	BIM Colaborativo e Integrado

A análise comparativa dos dados apresentados no quadro infra revela que um processo de implementação bem-sucedido resultou, em média, num crescimento de dois níveis na escala de maturidade BIM das empresas.

Tabela 7: Avaliação do nível de Maturidade BIM.

Resultado	**Maturidade BIM Antes da Implementação**	**Maturidade BIM Depois da Implementação**
Positivo	0,4	2,5
Negativo	0	0,3

3.8 Distribuição por Disciplina e Área da Indústria

Na tabela seguinte, apresentam-se os dados relativos aos casos de sucesso e insucesso segmentados por disciplina. Embora se reconheça que seria necessária uma amostra mais vasta para extrair conclusões estatísticas definitivas, a experiência acumulada pela BIMit permite identificar tendências claras. Observa-se, nomeadamente, uma maior sensibilidade e consciencialização das empresas de Arquitetura quanto à necessidade de integrar a metodologia BIM no desenvolvimento do projeto.

Tabela 8: Disciplina VS Sucesso ou Insucesso.

Áreas	Nº Total	Sucesso	Insucesso
Arquitetura	9	8	1
Arquitetura + Construtora + Dono de Obra	1	1	0
Arquitetura + Engenharia	1	1	0
Arquitetura + Engenharia + Construtora	2	1	1
Arquitetura + Interiores	3	1	1
Arquitetura + Promotor	1	0	1
Dono de Obra	5	4	1
Engenharia	4	2	2
Paisagismo	4	3	1
Topografia	3	3	0

3.9 Implementações anteriores falhadas

Do total de 33 empresas que iniciaram o processo de implementação, considerando as 24 que efetivamente implementaram o BIM, 14 já tinham passado por processos de implementação BIM falhados. Estes últimos, foram maioritariamente baseados em formação de software, sem foco nos processos e métodos e sem um acompanhamento a médio-longo prazo.

4. Desafios

Os desafios enumerados de seguida resultam da análise qualitativa das atas de reunião, inquéritos de satisfação e observação direta da equipa de consultoria durante os processos de implementação.

4.1 BIM por decreto da direção

A transição para a metodologia BIM exige das lideranças uma postura que combine o rigor normativo com uma vertente pedagógica. É fundamental que a direção não exija apenas a mudança, mas que assegure proactivamente as condições estruturais e os recursos necessários para que os colaboradores a concretizem.

O insucesso é quase inevitável quando a gestão de topo se limita a decretar a implementação sem permitir a revisão dos fluxos de trabalho, o ajuste dos prazos de entrega e a superação da mentalidade de rentabilidade imediata. Uma implementação BIM de sucesso, requer uma liderança ativa.

4.2 O Paradoxo da Produtividade em BIM

A implementação BIM pressupõe, inevitavelmente, uma queda temporária na produtividade durante a fase inicial de transição. Os dados sugerem que as empresas que registaram insucesso interromperam o processo no ponto de inflexão negativo da curva de aprendizagem.
Confrontadas pela pressão dos prazos contratuais e a diminuição do rendimento, estas estruturas tendem a regredir para os métodos tradicionais (CAD), procurando a segurança da rapidez de resposta anterior. Esta regressão impede a superação da barreira de adaptação, impossibilitando que a empresa atinja o patamar de eficiência prometida.

4.3 O Risco da Digitalização da Ineficiência

A transição para o BIM revela, frequentemente, lacunas organizacionais que o sistema CAD, pela sua natureza fragmentada e puramente representativa, tendia a mascarar. A tentativa de replicar fluxos de trabalho obsoletos e vícios metodológicos em plataformas BIM resulta na digitalização da ineficiência, tornando os erros estruturais mais onerosos e complexos de corrigir. É essencial compreender que a implementação BIM transcende a mera aquisição de competências num determinado software; sem uma revisão profunda dos processos de trabalho e dos *outputs*. O BIM deve ser encarado como um método de gestão de informação e não apenas como uma atualização tecnológica, exigindo que a organização redefina a sua estrutura de colaboração para evitar que as novas ferramentas se tornem apenas veículos mais sofisticados para falhas antigas.

4.4 Resistência Cultural

Este é um dos principais obstáculos, pois o BIM exige que o trabalho seja partilhado de forma transparente, logo numa fase inicial. Muitos colaboradores sentem-se expostos ou inseguros ao mostrar modelos "vivos" em vez de entregas finais e fechadas. A frase "sempre fizemos assim" funciona como uma barreira psicológica que tenta proteger métodos antigos do medo da mudança. A ausência de uma gestão que mitigue o receio da transparência promove o isolamento informativo, comprometendo a colaboração intrínseca à metodologia BIM.

4.5 O Erro do Detalhe Geométrico Excessivo

Muitas empresas cometem o erro de aplicar um detalhe geométrico excessivo logo nas fases iniciais, modelando elementos irrelevantes para a fase atual do projeto. Esta prática resulta num investimento de tempo desnecessário e na sobrecarga dos ficheiros, gerando uma frustração crescente nas equipas que ainda estão a aprender a dominar as ferramentas. Para evitar este cenário, o LOIN (Level of Information Need) deve ser rigorosamente definido no BEP (BIM Execution Plan), conforme as normas vigentes (ISO 19650 e EN 17412-1), garantindo que se produz apenas a informação necessária para cada fase. A implementação deve ser gradual, permitindo que a complexidade dos modelos acompanhe a aprendizagem e o ritmo real das equipas.

4.6 O dilema normativo

A normalização do BIM em Portugal vive uma dualidade. Se, por um lado, a ISO 19650 oferece a estrutura necessária para a gestão da informação, a sua complexidade e rigor terminológico acabam por assustar as equipas. Em Portugal, o quadro normativo é ainda muito reduzido, centrando-se no trabalho da comissão técnica CT 197. Esta escassez de regulamentação específica e adaptada à escala dos projetos locais deixa as empresas num limbo: ou tentam

aplicar normas internacionais densas e desfasadas da nossa realidade prática, ou trabalham sem padrões claros, o que compromete a interoperabilidade e afasta as empresas que percecionam estas normas apenas como um fardo burocrático.

5. Recomendações

5.1 Projeto-piloto - Crucial

A implementação da metodologia BIM não pode acontecer no vazio teórico, sendo o recurso a um Projeto-piloto real absolutamente fulcral. Deve selecionar-se um projeto de complexidade média, onde a equipa possa aplicar os novos conceitos num ambiente controlado, mas com prazos e desafios reais. O sucesso das empresas da amostra que utilizaram este método prova que o BIM só se consolida através da resolução de problemas práticos, transformando a teoria em normas internas sólidas.

5.2 Apoio

A consultoria não deve encerrar com o fim da implementação inicial. É vital prolongar o apoio técnico e estratégico para cobrir um período de maturação dos processos, que varia e depende das necessidades de cada equipa. Este acompanhamento pós-implementação é o que garante que a equipa não regrida para os métodos tradicionais de CAD nos primeiros momentos de desafio, pressão ou prazos de entrega apertados, consolidando bibliotecas e fluxos de trabalho próprios.

5.3 Gestão de Pessoas

O sucesso da transição depende mais da gestão da mudança do que da gestão de modelos. É fundamental identificar um colaborador interno, com apetência tecnológica e capacidade de liderança, que sirva de ponte entre a consultoria e a equipa. Simultaneamente, é crucial envolver os colaboradores seniores, garantindo que percecionam o BIM como uma ferramenta que valoriza o seu conhecimento técnico, e não como uma ameaça geracional à sua autoridade.

5.4 LOIN (Level of Information Need)

A máxima "menos é mais" aplica-se rigorosamente à modelação através da definição clara do LOIN (Level of Information Need). Em vez de investir recursos em modelos visualmente atrativos, mas pesados e inúteis para a gestão, as empresas devem focar-se em produzir apenas a informação necessária para cada fase. Modelos coordenados, simples e funcionais são preferíveis a ficheiros complexos que se tornam impossíveis de gerir ou dos quais não se consegue extrair informação relevante para o desenvolvimento e execução do projeto, assim como da gestão do ativo.

6. Conclusões

Com base na análise dos 33 casos de estudo da BIMit, que embora seja uma amostra limitada para generalizar o sector AEC global, representa fielmente o tecido empresarial em Portugal, conclui-se que o sucesso na adoção do BIM depende muito mais da atitude das lideranças e da gestão de pessoas do que da tecnologia escolhida. Embora a maioria das empresas consiga

completar a transição, muitas ficam pelo caminho devido a restrições financeiras, falta de pessoal preparado ou por não acreditarem no valor da mudança. O segredo para o sucesso está na resiliência para ultrapassar a quebra inicial de produtividade, apostando em projetos reais e num suporte contínuo.

As dificuldades, como a resistência à mudança ou a falta de interesse, são comuns a todo o sector e aparecem em quase todos os processos. A diferença é que as empresas que triunfam gerem estes obstáculos de forma mais prática, entendendo que o BIM exige uma nova mentalidade e não apenas um *software* novo. No fundo, a mudança torna-se sustentável quando a empresa simplifica a forma como gere a informação e adapta o método à sua realidade, transformando as dificuldades iniciais num trabalho de equipa mais eficiente e colaborativo.

Referências

[1] C. Eastman, P. Teicholz, R. Sacks e K. Liston, BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors, 2.ª ed., Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2011.

[2] R. Sacks e E. Pikas, "Building Information Modeling Education for Construction Engineering and Management. I: Industry Requirements, State of the Art, and Gap Analysis," Journal of Construction Engineering and Management, vol. 139, n.º 11, 2013.

[3] Instituto Português da Qualidade (IPQ), Comissão Técnica 197 (CT 197) – Normalização em Building Information Modelling, Caparica: IPQ, 2019. (Incluindo a série NP EN ISO 19650-1:2019 e NP EN ISO 19650-2:2019)

[4] European Committee for Standardization (CEN), EN 17412-1: Building Information Modelling - Level of Information Need - Part 1: Concepts and principles, Brussels: CEN, 2020.

12345

BIM PARA O CURSO DE GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA: LIMITES, CONTRADIÇÕES E OPORTUNIDADES

Monica Salgado, Luciana Figueiredo, Aline Marques, Frederico Braida

ptBIM

BIM PARA O CURSO DE GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA: LIMITES, CONTRADIÇÕES E OPORTUNIDADES

Monica Salgado(1), Luciana Figueiredo(2), Aline Marques(3), Frederico Braida(4)

(1) Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, ORCID 0000-0003-4098-8335
(2) Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, ORCID 0000-0002-3172-1519
(3) Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, ORCID 0000-0002-5874-6927
(4) Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, ORCID 0000-0002-7735-8380

Resumo
A difusão do Building Information Modeling (BIM) entre arquitetos e urbanistas exige transformações no ensino e na formação profissional. Um dos principais desafios refere-se à forma de inserção do BIM nos cursos de graduação, seja de modo transversal, integrado aos conteúdos específicos, seja por meio de disciplinas próprias voltadas às ferramentas e às discussões metodológicas. Independentemente da abordagem, o foco deve permanecer na formação de profissionais com competências amplas, coerentes com o perfil generalista do arquiteto e urbanista no Brasil, cuja atuação abrange planejamento, projeto, execução, assistência técnica, perícia e fiscalização. Nesse contexto, nem todas as atribuições dependem diretamente do domínio de ferramentas BIM, embora todas sejam impactadas pelas tecnologias digitais. Este artigo apresenta a proposta da disciplina "BIM na construção civil", ofertada na UFRJ, e discute o potencial de replicabilidade em outras instituições, tomando como exemplo a UFJF. Busca-se capacitar o estudante a reconhecer os benefícios do BIM, escolher ferramentas adequadas e compreender oportunidades, dificuldades e impactos dessa adoção na organização das equipes de projeto e obra, considerando a adequação do conteúdo ao curso em que a disciplina se insere.

1. Introdução

O processo de inserção do Building Information Modeling (BIM) no ensino envolve aspectos que vão desde a análise da matriz curricular dos cursos até a capacitação dos docentes. Estudos que listam as barreiras à adoção do BIM na indústria e na academia indicam aspectos semelhantes quanto às dificuldades de implantação, tais como: a falta de conhecimento; resistência à mudança cultural; falta de especialização; treinamento inadequado; complexidade dos modelos BIM; e falta de protocolos padronizados [1].
De forma geral, pode-se considerar seis principais critérios que tendem a facilitar o processo de adoção do BIM no ensino, quais sejam: (a) visão e prioridades da instituição; (b) existência de

infraestrutura adequada; (c) análise do currículo; (d) capacitação dos recursos humanos; (e) organização do conhecimento; e (f) gerenciamento de mudanças [2]. Esses critérios devem ser considerados na elaboração do planejamento para inserção do BIM.

No Brasil, a partir do Edital 3/2019 do Ministério da Economia [3], que promoveu um termo de colaboração para a modernização da construção civil, foram instituídas as Células BIM, que podem ser definidas como grupos organizados de professores e alunos de uma instituição de ensino, envolvidos na proposição e no desenvolvimento de um Plano de Implementação BIM curricular (PIBc) [4].

Ao se estudar as estratégias de formação das Células BIM no Brasil, podem ser identificadas três principais iniciativas: (i) de cima para baixo (*top-down*); (ii) de baixo para cima (*bottom-up*); e, (iii) do meio para o todo (*middle-out*). A primeira estratégia ocorre quando a iniciativa parte da direção ou coordenação do curso. A segunda refere-se ao processo iniciado pelos discentes interessados no tema. E a terceira está relacionada aos docentes, que passam a adotar o BIM como uma estratégia didática no ensino dos conteúdos específicos das disciplinas [5]. Entende-se que as Células BIM têm uma função específica e, após a integração do BIM ao ensino, os grupos atuantes podem continuar o trabalho na atualização das ações, não necessariamente organizados como "Células", uma vez que sua principal função terá sido cumprida.

No processo de disseminação do BIM, outra questão a ser considerada é quanto ao formato que se deve adotar na apresentação do BIM aos estudantes. Entende-se que, como o processo BIM pode beneficiar o desenvolvimento do projeto em diferentes etapas da construção, não seria correto tentar apresentar o conteúdo aos discentes em uma única disciplina, mas considerar as oportunidades que o processo oferece às diferentes disciplinas do curso. Por outro lado, observa-se a necessidade de, ao menos, apresentar aos discentes a abrangência do processo, e seu impacto na gestão e na produção das edificações.

Neste sentido, o presente artigo tem como objetivo apresentar a proposta de uma disciplina introdutória sobre BIM a ser oferecida aos alunos do curso de graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), de forma que, ao final, o discente seja capaz de: identificar os benefícios da adoção do BIM, discernir sobre as ferramentas adequadas; identificar as oportunidades/dificuldades envolvidas nessa escolha, bem como seus impactos na formação da equipe de projeto/obra. O artigo analisa também a viabilidade de realização de disciplina com o mesmo teor em outra universidade, tomando por base o curso de graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF).

2. Fundamentação teórica

Desde 2010, observa-se a crescente adoção do BIM, alterando significativamente o processo de projeto, que passou a ser orientado à modelagem da informação dos objetos (paramétricos) [6]. São diversas as definições de BIM, sendo uma das mais abrangentes aquela que considera como um ecossistema de aplicativos e processos integrados que permitem o compartilhamento e a utilização de informações durante todo o ciclo de vida do ativo [7].

Pesquisas consideram que os esforços da indústria da construção em relação à transformação digital ainda são subdesenvolvidos, e afirmam que tecnologias como a internet das coisas, computação em nuvem, *big data*, impressão 3D, sistemas cyber-físicos, e, ainda, a realidade

aumentada, realidade virtual e a interação humano-computador através da inteligência artificial, são alternativas que carecem de estudos, o que atrasa a sua adoção pelo setor [8]. Deve-se destacar que, nas últimas décadas, a indústria da construção continuou a ser um dos setores com menor índice de inovação, apresentando produtividade e crescimento limitados e com baixa digitalização em comparação com os setores de manufatura, varejo e telecomunicações [9]. Acredita-se que parte desse atraso esteja relacionado à formação profissional, uma vez que o ritmo acelerado do desenvolvimento das tecnologias digitais não é acompanhado pelas adaptações nos currículos e ementas das disciplinas que compõem a formação acadêmica. Daí a importância de iniciativas visando à modernização do ensino.
O curso de graduação em Arquitetura e Urbanismo da UFRJ implementou, em 2023, uma reforma curricular. O novo projeto pedagógico, além de valorizar as novas tecnologias digitais nas disciplinas do curso, prevê a oferta de uma disciplina optativa intitulada *"BIM na construção civil"* [10]. Tal disciplina pode ser oferecida aos alunos a partir do terceiro ano do curso (5º período) e tem como pré-requisito a disciplina de *"Planejamento de Arquitetura 2"* (disciplina obrigatória do 4º período). Com caráter teórico-prático, a disciplina foi aprovada com uma carga horária de 30 horas por semestre (2 horas de aulas semanais, ao longo de 15 semanas). Entende-se que a oferta de uma única disciplina não será suficiente para garantir a formação de competências necessárias ao trabalho no ambiente BIM. No entanto a iniciativa pode ser uma medida importante na disseminação do tema junto aos arquitetos em formação.

3. Metodologia

Este trabalho foi realizado em duas etapas. Na primeira etapa, apresenta-se o resultado do processo de estruturação da disciplina "BIM na construção civil", a ser oferecida aos alunos do curso de graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da UFRJ (FAUUFRJ), prevista no projeto pedagógico daquela instituição. A segunda etapa analisa a possibilidade de replicar a proposta em outro curso de graduação, tomando por base a Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da UFJF (FAUUFJF).
Com o objetivo de preparar o plano de curso, as docentes responsáveis pela disciplina elaboraram uma proposta que considera a apresentação do tema aos alunos em três módulos. Cada um dos módulos pretende desenvolver um conjunto de competências BIM, e adotando as estratégias didáticas que viabilizam a concretização da proposta. Cabe destacar que os módulos foram estruturados a partir de três enfoques específicos: (1) fundamentação; (2) simulação; e (3) construção. A proposição foi analisada considerando o projeto pedagógico da FAUUFRJ, porém buscou-se verificar a viabilidade de se replicar a proposta na FAUUFJF. Os resultados serão apresentados a seguir.

4. Resultados e discussão

A disciplina optativa *"BIM na construção civil"* foi concebida para levar aos estudantes desde os conhecimentos básicos sobre a metodologia até a aplicação prática de algumas alternativas oferecidas. Entende-se que não seria possível, em uma única disciplina, abordar todas as possibilidades oferecidas pelo BIM. Dessa forma, foi necessário priorizar alguns usos do modelo BIM. Cada módulo procurou o desenvolvimento de competências específicas,

considerando a tabela de competências estabelecidas pelo *BIM Excellence*, conforme apresentado a seguir.

4.1 Módulo 1: fundamentação, OpenBIM, IFC, ambiente comum de dados e colaboração

A capacitação em BIM demanda o reconhecimento de que se trata de processo complexo, que envolve não apenas o domínio das ferramentas digitais, mas competências relacionadas à colaboração, comunicação e coordenação no desenvolvimento de projetos. Dessa forma, o **objetivo** deste módulo é apresentar o processo BIM aos alunos, bem como suas potencialidades no desenvolvimento de projetos colaborativos e integrados. A **base teórica** adotada considera referências básicas no entendimento do processo BIM, desde a compreensão sobre o processo de projeto e construção:

(i) ao compreender que a modelagem da informação da construção viabiliza a gestão do processo de projeto, desde a concepção e por toda a vida útil do ativo, torna-se necessário iniciar a disciplina explorando as etapas evolutivas do processo de projeto. A base teórica a ser considerada nesta etapa serão os artigos sobre o tema, e a norma brasileira NBR 16636-1, que aborda a elaboração e desenvolvimento de serviços técnicos especializados de projetos arquitetônicos e urbanísticos (diretrizes e terminologia);

(ii) a partir da compreensão sobre as etapas do projeto e da gestão do processo de projeto, são apresentados os elementos que viabilizam a interoperabilidade do OpenBIM, quais sejam: Industry Foundation Classes (IFC); colaboração utilizando o BIM Collaboration Format (BCF); troca de dados a partir do Information Delivery Specification (IDS) e compartilhamento de informações através do Ambiente Comum de Dados (Common Data Environment - CDE). As principais referências desta parte serão as normas da série ISO 19650, com destaque para a parte 1, que trata dos conceitos e princípios do processo de projeto através da modelagem da informação da construção. Paralelamente, serão consideradas as publicações digitais de fácil acesso pelos estudantes, como os Guias disponibilizados pelo Governo Federal [11].

(iii) os usos do Modelo BIM serão apresentados aos estudantes de forma a demonstrar a importância de se adotar a metodologia já com a definição do uso pretendido. Como referência, será considerada a tabela do *BIM Excellence* [12] que considera sete grandes grupos: Captura e Representação; Planejamento e Projeto; Simulação e Quantificação; Construção e Fabricação; Operação e Manutenção; Monitoramento e Controle; e relação do BIM com outras bases. Serão apresentadas algumas oportunidades oferecidas pela associação BIM com a Inteligência Artificial.[13][14] Também serão abordados os conceitos de HBIM (BIM Histórico) e sua associação com gêmeos digitais [15];

(iv) considerando a necessidade de organizar o processo de projeto para adoção do BIM, o módulo termina com a apresentação conceitual de um Plano de Execução BIM (*BIM Execution Plan - BEP*).[16]

As principais **competências** a serem desenvolvidas neste módulo estão relacionadas ao grupo 1 – gerenciamento – envolvendo noções de gestão geral – definir e comunicar as metas decorrentes da adoção de novos sistemas e fluxos de trabalho; e gestão organizacional – identificar as mudanças organizacionais necessárias para iniciar, monitorar e aprimorar a adoção do BIM. Entre as **estratégias didáticas**, está a apresentação de vídeos com as alternativas de compartilhamento de arquivos em formato IFC para manipulação e visualização em aplicativos gratuitos, como o BIM Collab Zoom, ou o BONSAI (extensão do software BLENDER, também gratuito). O objetivo será demonstrar a interoperabilidade e as alternativas gratuitas oferecidas aos estudantes na visualização e análise de modelos.

4.2 Módulo 2: simulação ambiental e a tomada de decisão no processo BIM

A metodologia BIM tem, como um de seus pilares, a interoperabilidade, a qual se dá como a troca de informações estabelecidas entre ferramentas, entre agentes e entre agentes e ferramentas. Ao tratar da simulação ambiental e da tomada de decisão em um processo colaborativo como o BIM, a interoperabilidade se torna tema fundamental, pois concentra os potenciais e as fragilidades do processo. O **objetivo** deste módulo é abordar um recorte da simulação ambiental em BIM e discutir como as trocas de informações se dão em meio à concepção projetual, um processo permeado de tomadas de decisão.

Este módulo tem a **base teórica** estruturada a partir de três obras publicadas:

(i) *"Edifício Ambiental"* [17], com os capítulos intitulados *"Avaliação de desempenho, simulação computacional e o projeto arquitetônico"* e *"Fundamentos da simulação energética de edificações"*. De acordo com os autores desse livro, "a eficiência de soluções projetuais derivadas da interpretação arquitetônica dos princípios da Física pode ser comprovada, quantificada e aprimorada". Sendo esse o caso das simulações ambientais, tais princípios permitem elaborar códigos paramétricos objetivos orientados por normativas vigentes.

(ii) *"The Death of Drawing: Architecture in the Age of Simulation"* [18], com os capítulos *"Building Information Modeling"* e *"Simulation and Architecture"*. Sergio Scheer, ao tratar de BIM, afirma que "essas tecnologias não são 'apenas mais um lápis'; elas são, ao mesmo tempo, evidências e agentes de mudanças fundamentais na natureza da arquitetura".

(iii) *"Building Performance Simulation for Design and Operation"* [19], com os capítulos *"Weather data for building performance simulation"*, "*People in building performance simulation"* e *"Thermal load and energy performance prediction"*. O argumento central é que a complexidade da simulação está vinculada ao número de variáveis, às informações do modelo, ao método de cálculo, ao recorte de tempo e à interface e a estrutura do software. Com isso em mente, cabe reforçar que a simulação computacional exige rigor metodológico e conhecimento técnico por parte do projetista e da equipe responsável pela tomada de decisão e condução das informações.

Portanto, este módulo tem por finalidade desenvolver as **competências** de modelagem personalizada (própria para análise ambiental), simulação e quantificação.

Como **estratégia didática**, cada aula estará relacionada ao conteúdo de um dos livros listados acima. O módulo é composto por três aulas. Cada aula terá como ponto de partida pequenos trechos de cada capítulo a serem utilizados como suporte teórico e gatilhos para reflexão. Como desdobramento do conteúdo teórico, segue uma atividade prática de simulação térmica no programa Rhinoceros, com os plug-ins Ladybug e HoneyBee. O modelo-base é uma habitação típica unifamiliar adequada aos padrões do Selo Casa Azul + CAIXA [20]. A atividade prática é sequencial e será dividida em três etapas para se ajustar ao tempo de aula, ao conteúdo teórico e às competências que se pretende abordar.

Na primeira aula, será desenvolvido o modelo com vistas à análise térmica. Na segunda aula, será elaborado o código com as regras parametrizadas, assim como a escolha dos objetivos do projeto (maior eficiência, menor custo etc.) que darão suporte à tomada de decisão. Por fim, na terceira aula, serão extraídos os dados de saída e discutidos os resultados, assim como as estratégias de interoperabilidades das informações. O resultado é um modelo simples, mas com informações agregadas e compartilháveis para outros agentes e etapas de projeto.

4.3 Módulo 3: projeto de habitação no processo BIM. Coordenação e tomada de decisão na construção em BIM

Este módulo adota o tema da habitação, com ênfase na Habitação de Interesse Social (HIS), como eixo para a problematização do uso do BIM no processo de projeto e na formação em arquitetura e urbanismo, em consonância com a abordagem metodológica adotada nos módulos anteriores. A escolha da habitação como objeto de estudo justifica-se por sua relevância social e por sua recorrência na prática profissional do arquiteto brasileiro, sobretudo em contextos marcados por restrições orçamentárias, exigências normativas e múltiplos condicionantes técnicos e ambientais [21] [22].

O **objetivo** do módulo é discutir o BIM como suporte à coordenação do processo de projeto e à tomada de decisão projetual, e não apenas como ferramenta de modelagem ou coordenação. Parte-se do entendimento de que, no contexto da HIS, o projeto da habitação envolve desde escolhas arquitetônicas iniciais até a articulação com projetos complementares de estrutura e instalações, cujas decisões impactam diretamente o desempenho ambiental, os custos e a viabilidade construtiva das edificações [23].

A **estratégia didática** do módulo estrutura-se em três etapas articuladas, alinhadas à progressão conceitual e prática proposta ao longo da disciplina. Na primeira etapa, de caráter introdutório e conceitual, são discutidos temas relacionados à habitação contemporânea e, em especial, à HIS, como padrões mínimos de moradia, desempenho térmico e ambiental, racionalização construtiva, repetição tipológica e os limites impostos por normativas e programas habitacionais. Nessa etapa, são também apresentadas e discutidas as possibilidades de desenvolvimento e integração de projetos complementares, como estrutura e instalações prediais, a partir de processos de interoperabilidade BIM, enfatizando a coordenação entre disciplinas, a compatibilidade entre sistemas e o papel do modelo integrado como suporte à verificação e à tomada de decisão [24]. Essa etapa fornece uma **base teórica** e um repertório crítico necessário para subsidiar as decisões técnicas desenvolvidas nas etapas seguintes.

Na segunda etapa, os estudantes desenvolvem um elemento ou componente construtivo a ser aplicado ao modelo habitacional utilizado no Módulo 2. Esses elementos podem incluir, por exemplo, dispositivos de proteção solar, componentes de vedação, soluções de cobertura ou elementos parametrizáveis voltados à melhoria do desempenho ambiental. O desenvolvimento considera aspectos geométricos, construtivos e informacionais, de modo que o componente possa ser inserido adequadamente em um modelo BIM e utilizado em análises posteriores.

Na terceira etapa, o elemento ou componente desenvolvido é incorporado ao modelo-base da habitação, previamente construído e analisado no Módulo 2. A partir dessa inserção, são realizadas comparações entre cenários, avaliando impactos no desempenho ambiental e nas informações extraídas do modelo. Essa etapa reforça a compreensão do BIM como um processo integrado, no qual decisões projetuais se refletem diretamente nos resultados das simulações e no suporte à tomada de decisão.

As **competências** desenvolvidas no módulo articulam-se às Funcionais e Operacionais descritas pelo BIM *Excellence*, com ênfase na coordenação interdisciplinar baseada em modelos (*model-based collaboration and coordination*), na extração de dados e quantitativos (*data extraction and quantification*) e na análise de desempenho baseada em modelos (*model-based performance analysis*). Essas competências subsidiam o uso do BIM como suporte à tomada de decisão, a partir da análise de alternativas projetuais e da leitura crítica das informações extraídas dos modelos com vistas à construção.

4.4 Discussão: possibilidade de replicar a experiência na UFJF

Conforme estabelecido como pressuposto, a disciplina *"BIM na construção civil"* estruturou-se a partir de uma lacuna identificada na formação profissional em cursos de graduação em Arquitetura e Urbanismo no Brasil, integrando aspectos de fundamentação, simulação e construção, tanto de forma teórica quanto prática. Cabe destacar que os módulos foram concebidos para funcionarem de forma relativamente independente, porém articulada, sendo o módulo anterior pré-requisito para o seguinte, uma vez que há um aumento da complexidade dos conteúdos ministrados e uma passagem da abordagem eminentemente teórica para a proposição de exercícios práticos.

No âmbito da disciplina, busca-se evidenciar o BIM como um processo colaborativo, que permeia todo o processo de projeto e construção, acompanhando o ciclo de vida de uma edificação. Considerando que, na UFRJ, assim como na maioria das universidades brasileiras, o BIM ainda não está implementado de forma orgânica, ao longo de toda a matriz curricular, evidencia-se a importância de uma disciplina que aborde, de forma mais holística, tais conteúdos. Embora se reconheça o BIM como uma metodologia transversal, que deve perpassar uma parte considerável das disciplinas de um curso, a proposição de uma disciplina específica se mostra viável para contribuir para a superação da defasagem formativa dos alunos em relação aos conteúdos BIM, que se apresenta como uma demanda para atuação profissional na contemporaneidade.

A proposta apresentada também evidencia um debate recorrente na literatura sobre ensino de BIM: a necessidade de equilibrar a formação conceitual-processual e a capacitação instrumental. Ao privilegiar a compreensão do BIM como processo colaborativo e informacional, a disciplina se afasta de abordagens centradas meramente no uso de softwares e se aproxima de modelos pedagógicos que compreendem o BIM como uma transformação cultural do processo de projeto na era digital.

Verifica-se que esse formato, dada a sua abordagem mais ampla, diferencia-se da abordagem de ensino de BIM na FAUUFJF, cujos conteúdos são ministrados principalmente em uma disciplina obrigatória intitulada "Representação Digital Técnica II (RDT II)", ofertada no segundo período. Nesse caso, a abordagem específica recai sobre as questões de representação gráfica [25] [26].

Na hipótese de replicação da disciplina apresentada neste artigo na FAU-UFJF, recomenda-se sua oferta tendo como pré-requisito a disciplina RDT II. Nessa configuração, ela poderia ser cursada por estudantes a partir do terceiro período. Contudo, sugere-se priorizar a matrícula de discentes que estejam, ao menos, no quinto período, pois tendem a apresentar melhor aproveitamento em função de um repertório mais consolidado sobre tecnologias construtivas (sistemas e materiais). Indica-se, ainda, que a disciplina seja ofertada como eletiva, considerando a existência de componente curricular obrigatório com temática correlata. Por fim, seria necessária uma adaptação de sua estrutura para que passasse a ter carga horária correspondente a três créditos, padrão adotado para disciplinas eletivas na FAU-UFJF.

Se, por um lado, verifica-se que uma das limitações da referida disciplina é o fato de ser optativa, o que implica atingir apenas uma parcela do total de alunos do curso, por outro, faz com que os alunos se engajem mais na disciplina justamente por não ser obrigatória. No entanto, cabe destacar que se trata de uma disciplina com baixa carga horária, o que se configura como uma limitação adicional.

No Brasil, a contratação de obras por meio de licitações tem exigido a contratação em BIM conforme Lei 14133 que trata o tema [27]. Portanto, a inserção de conteúdos BIM na formação

é urgente. Logo, a disciplina proposta e apresentada neste artigo se insere no contexto de buscar uma mitigação para as lacunas identificadas na formação de arquitetos e urbanistas no contexto atual. Assim, a disciplina proposta não se apresenta apenas como solução pontual, mas como um modelo de transição para contextos curriculares de baixa ou intermediária maturidade BIM. Além da UFJF, considera-se que, tal como concebida, a disciplina pode ser adaptada e replicada em outras instituições. A estrutura apoiada na fundamentação, na simulação e na construção é passível de ser apropriada e adequada para outras realidades, levando-se em conta os diferentes projetos pedagógicos, a disponibilidade de recursos humanos (corpo docente e técnico) e a real demanda pela formação do corpo discente. O desenho da disciplina mostra-se flexível o suficiente para acomodar diferentes objetivos pedagógicos específicos, implementar diversas estratégias didáticas, incrementar o referencial teórico e desenvolver diferentes competências.

5. Considerações finais

O presente trabalho formaliza a proposta da disciplina "BIM na construção civil", proposta ao curso de graduação em Arquitetura e Urbanismo da UFRJ. A primeira turma desta disciplina ocorreu no primeiro semestre de 2026, com expectativa, por parte dos docentes envolvidos, quanto à adesão dos discentes, na medida em que se trata de disciplina optativa. O cerne da discussão apresentada neste artigo reside na forma como o ensino de BIM pode se estruturar no âmbito da graduação em Arquitetura e Urbanismo, bem como sua materialização possível mediante o reconhecimento da realidade e especificidade de cada Instituição de Ensino Superior. Portanto, a proposta aqui apresentada se mostra compatível com a realidade de instituições que, como a UFRJ, ainda não possuem metodologias BIM implementadas de forma mais espraiada pela matriz curricular. A relevância da proposta não reside apenas na descrição de uma experiência local, mas na sistematização de um modelo de inserção do BIM em contextos curriculares nos quais a metodologia ainda não se encontra implementada de forma transversal. Na análise da realidade de outra instituição, no caso o curso de graduação em Arquitetura e Urbanismo da UFJF, evidencia-se a necessidade de ajuste na carga horária, porém a estrutura se mostra plenamente adequada.

Entende-se que a disciplina proposta sofrerá ajustes ao longo do próprio semestre e tende a se consolidar com um formato mais estável nas turmas futuras, uma vez que o próprio desempenho dos alunos e a percepção do corpo docente funcionarão como *feedback* para o redesenho do plano de curso. Como se trata de uma disciplina optativa oferecida aos alunos a partir do 5º período, ainda não é possível prever com precisão o perfil do público que cursará a disciplina, por exemplo, se haverá interesse por parte dos discentes do último ano.

Espera-se que a proposta elaborada possa instigar a discussão sobre o tema e servir como apoio às iniciativas relacionadas ao ensino do BIM. Como principal contribuição, apresenta-se a estrutura de uma disciplina que visa à articulação de conteúdos de fundamentação, simulação e construção, e que seja flexível o suficiente para que possa ser apropriada por outros docentes em outras instituições de ensino.

Por fim, a discussão apresentada neste artigo reforça que o ensino de BIM na graduação em Arquitetura e Urbanismo não deve ser compreendido apenas como atualização tecnológica, mas como reconfiguração de práticas projetuais, relações de colaboração profissional e modos de produção da informação. Nesse sentido, disciplinas que abordem o BIM, quando estruturadas de forma processual e integrada, podem fomentar mudanças curriculares mais amplas.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio à pesquisa – Bolsas de Produtividade e Projeto Universal.

Referências

[1] R. C. Ruschel and C. Kehl, "Curricular BIM implementation plan: Protocol proposal and pilot application in Brazil," *Ambiente Construído*, vol. 24, Art. no. e131385, 2024. doi: 10.1590/s1678-86212024000100717.

[2] I. F. I. Maharika, A. I. Athas, A. I. Susanto, V. Abma, and Y. Yuriandala, "Building Information Modeling (BIM) adoption model for architectural education," *Journal of Design and Built Environment*, vol. 20, no. 3, pp. 22–42, 2020.

[3] Brasil, Ministério da Economia, "Edital nº 3/2019," 2019. [Online]. Available: https://www.gov.br/economia/pt-br/acesso-a-informacao/licitacoes-e-contratos/doacoes/chamamentos-publicos/2019/construcao-civil/edital.

[4] Brasil, Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços, *Guia para elaboração de planos de implantação BIM curricular*, 2024. [Online]. Available: https://www.gov.br/mdic/pt-br/assuntos/sdic/construa-brasil/copy_of_2405ConstruaBrasilGuiaParaPlanosdeImplementacaoBIMCurricular2.pdf

[5] N. R. Fantin and M. S. Salgado, "Strategies to incorporate BIM in the architecture learning process: Case studies," in *Proc. SIGRADI 2024 – Biodigital Intelligent Systems*, Barcelona, pp. 431–440, 2024.

[6] M. Roux, M. Dardes, H. Cambiaghi, J. Paula, E. S. Nardelli, and A. L. de Oliveira, "Colocando o 'i' no BIM," *Arq.urb*, no. 4, pp. 104–115, 2020. [Online]. Available: https://revistaarqurb.com.br/arqurb/article/view/207.

[7] F. Jernigan, *Big BIM 4.0: Ecosystems for a Connected World*. United Kingdom: 4site Press, 2017.

[8] P. Dallasega, E. Rauch, and C. Linder, "Industry 4.0 as an enabler of proximity for construction supply chains: A systematic literature review," *Computers in Industry*, vol. 99, pp. 205–225, 2018. doi: 10.1016/j.compind.2018.03.039.

[9] M. Regona *et al*., "Opportunities and adoption challenges of AI in the construction industry: A PRISMA review," *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, vol. 8, no. 1, p. 45, 2022.

[10] Universidade Federal do Rio de Janeiro, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, *Projeto pedagógico do curso de graduação em Arquitetura e Urbanismo 2021–2030*, 2021. Available: https://www.fau.ufrj.br/wp-content/uploads/2025/06/FAU_PPC_2023_v4.pdf.

[11] Brasil, Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços, *Guia 1 – Processo de Projeto BIM*, 2017. [Online]. Available: https://plataformabimbr.abdi.com.br/guias-normas/GUIA_BIM_01.pdf.

[12] BIM Domain Model Uses 2020 v.1.2 BIMe Initiative Available: https://bimexcellence.org/files/211in-Model-Uses-Table.pdf

[13] M. S. Salgado "Análise das oportunidades oferecidas pela associação BIM-IA à produção do ambiente construído". *In: Simpósio Brasileiro de Gestão e Economia da Construção,*

14., Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil, 2025, pp 1-11 . DOI: 10.46421/sibragec.v14i.7614.

[14] M. S. Salgado. "Inteligência Artificial e BIM na gestão de projetos: onde estamos?" *In: Simpósio Brasileiro de Tecnologia da Informação e Comunicação na Construção, 5*., Florianópolis, Santa Catarina, Brasil, 2025, pp 1-10. DOI: 10.46421/sbtic.v5i00.7352

[15] C. L. Canuto, M. S. Salgado, R. Codinhoto, "Adoção do HBIM-DT na gestão de facilities para a conservação preventiva da arquitetura moderna" *Gestão & Tecnologia de Projetos*, vol. 20, n.2 pp. 5-31, Dez 2025. doi: 10.11606/gtp.v20i2.235720

[16] BIM FÓRUM BRASIL (BFB). *Guias de contratação BIM: volume 1 - Conceitos básicos e requisitos para contratação BIM*. São Paulo: BIM Fórum Brasil - BFB: Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI), 2023.

[17] J. C. S. Gonçalves and K. Bode, eds., *Edifício Ambiental*. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.

[18] D. Scheer, *The Death of Drawing: Architecture in the Age of Simulation*. New York: Routledge, 2014.

[19] J. L. M. Hensen and R. Lamberts, eds., *Building Performance Simulation for Design and Operation*, New York: Spon Press, 2011.

[20] CAIXA, "Selo Casa Azul + CAIXA." [Online]. Available: https://www.caixa.gov.br/sustentabilidade/negocios-sustentaveis/selo-casa-azul-caixa/Paginas/default.aspx.

[21] N. G. Bonduki, "Origens da habitação social no Brasil", *Análise Social*, vol. 29, no. 127, pp. 711–732, 1994.

[22] Caixa Econômica Federal, *Guia Selo Casa Azul + CAIXA: Boas práticas para habitação mais sustentável*. Brasília: Caixa Econômica Federal, 2020. [Online]. Available: https://www.caixa.gov.br/Downloads/selo_casa_azul/Guia-Selo-Casa-Azul-CAIXA.pdf.

[23] Associação Brasileira de Normas Técnicas, *ABNT NBR 15575: Edificações habitacionais — Desempenho*. Rio de Janeiro, Brazil: ABNT, 2013.

[24] R. Kaizuka and T. C. Evangelista, "Como o BIM favorece o desenvolvimento dos projetos estruturais", *Concreto & Construções*, no. 85, pp. 45–51, 2017.

[25] F. Braida, "Ten Years of BIM in the Undergraduate Architecture and Urbanism Program at the Federal University of Juiz de Fora", in *Proc. SIGRADI 2024 – Biodigital Intelligent Systems*, Barcelona, pp. 775–786, 2024.

[26] Universidade Federal de Juiz de Fora, *Projeto Pedagógico do Curso de Arquitetura e Urbanismo*, 2022. [Online]. Available: https://www2.ufjf.br/arquitetura/wp-content/uploads/sites/499/2009/12/PPC_12023_v00_20221215.pdf.

[27] Brasil, Lei nº 14.133, de 1º de abril de 2021: *Estabelece normas gerais de licitação e contratação para as administrações públicas e dá outras providências*. Brasília, DF, 2021. [Online]. Available: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2021/lei/L14133.htm.

12345

ENTRE PESSOAS E PROCESSOS: DIMENSÕES CULTURAIS DA IMPLEMENTAÇÃO DO BIM NO SESC E SENAC DO RIO GRANDE DO NORTE, BRASIL

Edy Barbosa, Thayse Soares, Deyse Carvalho, Igor Linhares, Lucas Gomes, Patricia Tavares, Larissa Souza, José Neto

ptBIM

ENTRE PESSOAS E PROCESSOS: DIMENSÕES CULTURAIS DA IMPLEMENTAÇÃO DO BIM NO SESC E SENAC DO RIO GRANDE DO NORTE, BRASIL

Edy Barbosa [(1)], Thayse Soares [(2)], Deyse Carvalho [(3)], Igor Linhares [(4)], Lucas Gomes [(5)], Patricia Tavares [(6)], Larissa Souza [(7)], José Neto [(8)]

(1) SENAC, Natal, 0009-0004-2322-440X
(2) SENAC, Natal, 0009-0007-1596-9577
(3) SENAC, Natal, 0009-0002-0659-5271
(4) SENAC, Natal, 0009-0002-5041-9531
(5) SENAC, Natal, 0009-0004-2778-2484
(6) SENAC, Natal, 0009-0006-5950-9495
(7) SESC, Natal, 0009-0003-6395-1743
(8) SESC, Natal, 0009-0004-8247-1195

Resumo
Implementações do *Building Information Modeling* (BIM) têm sido amplamente discutidas, mas sua adoção configura-se, sobretudo, como um processo cultural, e não apenas tecnológico. Conforme Eastman et al. (2018), a implementação eficaz do BIM depende de transformações organizacionais tão significativas quanto a integração de novas ferramentas. Nas unidades Sesc e Senac do Rio Grande do Norte, caracterizadas por equipes heterogêneas, rotinas híbridas e diversidade, a implantação em andamento tem exigido repensar fluxos, reconhecer repertórios distintos e fortalecer práticas de colaboração, evidenciando o papel dos fatores humanos. O objetivo deste artigo é analisar a implementação do BIM no setor de obras do Sesc-Senac/RN, com ênfase nas dimensões culturais, técnicas e organizacionais envolvidas. A metodologia combina revisão bibliográfica sobre maturidade BIM, gestão da mudança e processos de adoção, articulada à coleta de dados empíricos por meio de formulários estruturados de avaliação de hard skills e soft skills. Essa abordagem permitiu mapear competências, identificar desafios e compreender percepções das equipes ao longo da transição. Os resultados indicam que a incorporação do BIM ultrapassa a esfera tecnológica, demandando um ambiente favorável à aprendizagem contínua, à integração entre setores e ao alinhamento de expectativas. Observam-se avanços em clareza processual, comunicação intersetorial, além do fortalecimento do BIM como estruturador de processos institucionais. Conclui-se que a implementação BIM em instituições complexas depende da articulação entre tecnologia, pessoas e cultura organizacional. Os achados oferecem subsídios para modelos de adoção mais realistas e sustentáveis, capazes de orientar outras organizações públicas e privadas em processos correlatos.

1. Introdução

A adoção do *Building Information Modeling* (BIM) tem sido cada vez mais discutida e impulsionada. No contexto brasileiro, esse movimento ocorre por meio de marcos regulatórios voltados à modernização dos processos de contratação, projeto e execução de obras públicas e privadas. A promulgação da Lei nº 14.133/2021 e a instituição da Estratégia Nacional de Disseminação do BIM, por meio do Decreto nº 11.888/2024, reforçam o BIM como instrumento estratégico para a melhoria da eficiência, da transparência e da sustentabilidade no setor da construção, alinhando o país a tendências internacionais já consolidadas.

Apesar desse avanço normativo, a literatura e a prática demonstram que a implementação do BIM não se resume à adoção de ferramentas digitais. Trata-se de um processo sociotécnico que exige transformações organizacionais profundas, envolvendo revisão de fluxos de trabalho, redefinição de papéis, desenvolvimento de competências e fortalecimento de práticas colaborativas. Conforme apontado por Eastman et al. [1], a eficácia do BIM depende tanto da integração tecnológica quanto da capacidade das organizações de promover mudanças culturais e processuais consistentes.

Nesse cenário, muitos esforços de implantação falham ou produzem resultados limitados por subestimar os fatores humanos e organizacionais, tratando o BIM como recurso técnico isolado. Essa constatação é corroborada pela literatura internacional, que associa limitações na adoção do BIM a barreiras organizacionais, resistência à mudança e ausência de alinhamento estratégico, mais do que a restrições tecnológicas [6], [7], [9].

Esse desafio torna-se ainda mais relevante em instituições complexas, caracterizadas por equipes heterogêneas, rotinas híbridas e estruturas organizacionais nas quais a Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC) não constitui a atividade-fim, mas uma atividade-meio de suporte à missão institucional.

É nesse contexto que se insere o estudo das unidades do Serviço Social do Comércio (Sesc) e do Serviço Nacional de Aprendizagem Comercial (Senac) do Rio Grande do Norte. Nessas instituições, a implementação do BIM ocorre em ambiente marcado pela diversidade de perfis profissionais, por distintos níveis de familiaridade prévia com a metodologia e por processos institucionais já consolidados. Ainda assim, observam-se condições organizacionais favoráveis à implantação, com investimentos em capacitação, reorganização de fluxos e estímulo à integração entre áreas técnicas, em um processo ainda em curso.

Diante desse contexto, o presente artigo tem como objetivo analisar a implementação do BIM no setor de obras do Sesc-Senac/RN, com ênfase nas dimensões culturais, organizacionais e de competências profissionais envolvidas. A partir de um estudo de caso com abordagem mista, busca-se compreender como fatores humanos, culturais e processuais influenciam a evolução da maturidade BIM em equipes heterogêneas, bem como discutir implicações para modelos de adoção mais realistas e sustentáveis em organizações públicas e privadas de natureza similar.

2. Referencial teórico

2.1. BIM além da tecnologia: uma abordagem sociotécnica da implementação

Estudos recentes indicam que parte significativa das dificuldades associadas à implementação do BIM decorre da ausência de uma abordagem sistêmica. Muitas iniciativas concentram-se predominantemente em aspectos técnicos ou estruturais, negligenciando o papel do usuário individual no processo de adoção, o que compromete tanto a aceitação da tecnologia quanto a

consolidação de práticas colaborativas, resultando em implementações mais lentas e menos eficazes [9].

As definições contemporâneas de BIM reforçam essa perspectiva ao evidenciar sua natureza integrada e multidimensional. Destaca-se que o EUBIM Taskgroup estrutura o BIM a partir de quatro dimensões interdependentes — políticas, técnicas, processos e pessoas — enquanto o conceito de openBIM o define como um processo colaborativo que conecta indivíduos, processos e dados ao longo de todo o ciclo de vida do ativo. Essas abordagens convergem para a compreensão do BIM como um sistema sociotécnico [9].

Nesse contexto, o modelo Human–Technology–Organization (HTO), fundamentado na Teoria dos Sistemas Sociotécnicos, oferece um referencial adequado para analisar a adoção do BIM, ao considerar que o desempenho de sistemas complexos emerge da interação entre os subsistemas humano, tecnológico e organizacional. O subsistema humano é apontado como o mais complexo e intangível, por envolver dimensões cognitivas, psicológicas e sociais, o que dificulta sua caracterização e transformação [9]. Aplicado ao BIM, esse entendimento evidencia a necessidade de considerar simultaneamente competências técnicas (hard skills) e comportamentais (soft skills), como comunicação, colaboração, liderança e aprendizagem contínua — fatores críticos para o uso efetivo da metodologia [9].

Historicamente, embora o BIM tenha evoluído a partir de modelos computacionais, sua consolidação como metodologia representa uma mudança estrutural na forma de conceber, produzir e gerir informações na AEC. Conforme Eastman et al. [1], o BIM deve ser compreendido como um processo sociotécnico que redefine fluxos de trabalho, papéis e mecanismos de coordenação, sendo sua efetividade mais dependente da capacidade organizacional de adaptação do que da sofisticação tecnológica.

Modelos de maturidade BIM corroboram essa visão ao indicar que a evolução institucional ocorre da prática individual para arranjos colaborativos e interoperáveis, exigindo governança, desenvolvimento de competências e integração interdisciplinar [6], [7]. Em organizações complexas e com equipes heterogêneas, como o Sesc-Senac/RN, essa natureza sociotécnica torna-se ainda mais evidente, reforçando a necessidade de abordagens de implementação sensíveis ao contexto humano e organizacional.

2.2. Gestão da mudança, cultura organizacional e centralidade das pessoas na adoção do BIM

A literatura sobre gestão da mudança e cultura organizacional indica que transformações estruturantes, como a adoção do BIM, dependem de mais do que a introdução de novas tecnologias. Elementos como senso de propósito, patrocínio da liderança, comunicação consistente e aprendizagem progressiva são determinantes para a consolidação de novas práticas [10], [11]. Estudos nacionais e internacionais demonstram que resistência à mudança, baixa maturidade digital e segmentação entre setores figuram entre os principais entraves à adoção do BIM em organizações públicas e privadas [6], [7], reforçando a necessidade de abordagens graduais, sensíveis à diversidade de repertórios profissionais e ao ritmo de aprendizagem das equipes. No contexto do BIM, isso implica a transição de modelos de trabalho fragmentados para práticas colaborativas sustentadas por transparência informacional, confiança e responsabilização compartilhada.

A sustentabilidade da implementação do BIM está diretamente associada à capacidade das organizações de institucionalizar essas práticas colaborativas, convertendo iniciativas pontuais em rotinas organizacionais estáveis [12], [13]. Nesse sentido, pessoas e processos constituem o

alicerce da maturidade organizacional, exigindo lideranças ativas, governança clara e mecanismos formais de coordenação, como definição de requisitos de informação, acordos de troca de dados e uso estruturado de ambientes comuns de dados. Sem esse lastro humano e cultural, o BIM tende a permanecer restrito ao plano formal — normas, modelos e softwares — sem se traduzir em valor organizacional efetivo. Essa compreensão fundamenta a análise dos resultados empíricos deste estudo, especialmente no que se refere à evolução da maturidade BIM em um contexto institucional ainda em processo de consolidação.

2.3. Competências, *hard skills*, *soft skills* e desenvolvimento humano em BIM

A incorporação do BIM exige um conjunto integrado de competências técnicas (hard skills) e comportamentais (soft skills). As hard skills envolvem conhecimentos relacionados à modelagem, coordenação, interoperabilidade, gestão da informação, uso de padrões e ferramentas digitais. Já as soft skills dizem respeito à comunicação, colaboração, negociação, visão sistêmica e resolução de problemas — competências essenciais para o trabalho interdisciplinar característico do BIM.

Barison e Santos [14] destacam que a formação em BIM deve articular essas duas dimensões, uma vez que o domínio técnico isolado é insuficiente para garantir a efetividade dos processos colaborativos e a atuação interdisciplinar. Em ambientes organizacionais com equipes heterogêneas, essa integração torna-se ainda mais crítica, pois diferentes níveis de experiência e familiaridade com o BIM coexistem simultaneamente.

Nesse sentido, diagnósticos estruturados de competências, por meio de questionários, entrevistas e matrizes de proficiência, configuram instrumentos relevantes para orientar estratégias de capacitação e acompanhamento da evolução da maturidade BIM. No caso do Sesc-Senac/RN, essa perspectiva fundamenta a análise dos dados relacionados à autopercepção de competências, motivação para aprendizagem contínua e capacidade de adaptação a novos fluxos de trabalho.

3. Metodologia

A presente pesquisa adota uma abordagem metodológica mista, com predominância qualitativa, estruturada como um estudo de caso aplicado no contexto do setor de obras do Sesc-Senac/RN. A opção por esse delineamento justifica-se pela natureza sociotécnica do BIM, amplamente reconhecida na literatura como um processo que envolve, de forma indissociável, tecnologia, pessoas e organização [1], [6], [8].

A coleta de dados foi realizada por meio de revisão bibliográfica e aplicação de questionários estruturados, compostos por questões fechadas e abertas, direcionados aos profissionais envolvidos nas atividades de arquitetura, engenharia, fiscalização e apoio técnico.

A amostra, de caráter intencional e não probabilístico, foi composta por todos os profissionais vinculados ao setor de obras do Sesc-Senac/RN, abrangendo diferentes áreas técnicas e refletindo a heterogeneidade de perfis do grupo analisado, incluindo variações de formação, tempo de experiência profissional e níveis de familiaridade prévia com o BIM. Ressalta-se que os resultados não possuem pretensão de generalização estatística, mas sim de aprofundamento analítico no contexto estudado.

Os questionários buscaram levantar informações relativas ao perfil dos participantes, às condições pessoais e organizacionais para capacitação, às percepções sobre cultura, competências e processos, bem como ao entendimento e à vivência prática do BIM no contexto

institucional. Para isso, o instrumento foi estruturado em três blocos principais: (i) caracterização do perfil dos participantes; (ii) avaliação de competências técnicas e comportamentais (hard e soft skills); e (iii) percepções sobre cultura organizacional, processos e implementação do BIM. As questões fechadas utilizaram escalas do tipo Likert, enquanto as questões abertas permitiram captar percepções qualitativas sobre desafios, oportunidades e impactos do processo de implementação.

Adicionalmente, foram aplicados dois instrumentos de avaliação de maturidade BIM em momentos distintos — diagnóstico inicial (2025.1) e reavaliação após o período de implementação e capacitação (2025.2). Esses instrumentos foram estruturados a partir de critérios definidos colaborativamente com a equipe, buscando refletir as necessidades e especificidades do contexto institucional do Sesc-Senac/RN. Foram considerados, entre outros, os seguintes eixos: conceitos e glossário BIM, normas BIM, hardware e software, CDE, interoperabilidade (IFC), gestão ágil, gestão BIM, entregáveis BIM, além de aplicações relacionadas a projetos, orçamentos, construção e usos do modelo BIM. A definição desses critérios visou garantir aderência prática à realidade operacional da instituição, permitindo uma avaliação mais contextualizada e aplicável ao processo em curso.

Embora não reproduzam integralmente estruturas clássicas de avaliação, como o BIM Maturity Framework de Succar ou o modelo de níveis de Bew & Richards, os critérios adotados mantêm correspondência conceitual com esses referenciais, especialmente ao contemplar dimensões equivalentes a tecnologia, processos e gestão, além da progressão de capacidades ao longo do tempo. Dessa forma, a adaptação realizada preserva os princípios fundamentais dos modelos consagrados — como evolução por níveis, integração interdisciplinar e estruturação de práticas — ao mesmo tempo em que os traduz para uma lógica aplicada ao contexto organizacional analisado. Essa abordagem permite equilibrar rigor teórico e aderência prática, contribuindo para uma avaliação de maturidade mais significativa em ambientes institucionais complexos.

A análise dos dados quantitativos apoiou-se em estatística descritiva simples, enquanto as respostas abertas foram tratadas por meio de análise de conteúdo temática estruturada, permitindo identificar padrões recorrentes e categorias analíticas alinhadas ao objetivo do estudo. Todos os procedimentos respeitaram princípios éticos, com participação voluntária, anonimização das respostas e uso exclusivo dos dados para fins de pesquisa científica.

4. Resultados e Discussão

A análise dos dados coletados foi realizada com base nos instrumentos aplicados ao longo do processo de implementação do BIM no setor de obras do Sesc-Senac/RN, considerando tanto os resultados quantitativos quanto as percepções qualitativas dos participantes.

O período analisado compreende o intervalo entre o primeiro semestre de 2025 (2025.1), correspondente ao diagnóstico inicial, e o segundo semestre de 2025 (2025.2), após a implementação das ações de capacitação e reorganização dos processos.

A análise do perfil dos participantes evidencia uma equipe composta por profissionais com formações, idades, tempos de experiência e níveis de familiaridade com o BIM significativamente distintos, conforme ilustrado na Figura 1. O grupo analisado abrange diferentes áreas técnicas — incluindo arquitetura, engenharia, fiscalização e apoio técnico — refletindo a diversidade funcional característica do setor de obras do Sesc-Senac/RN.

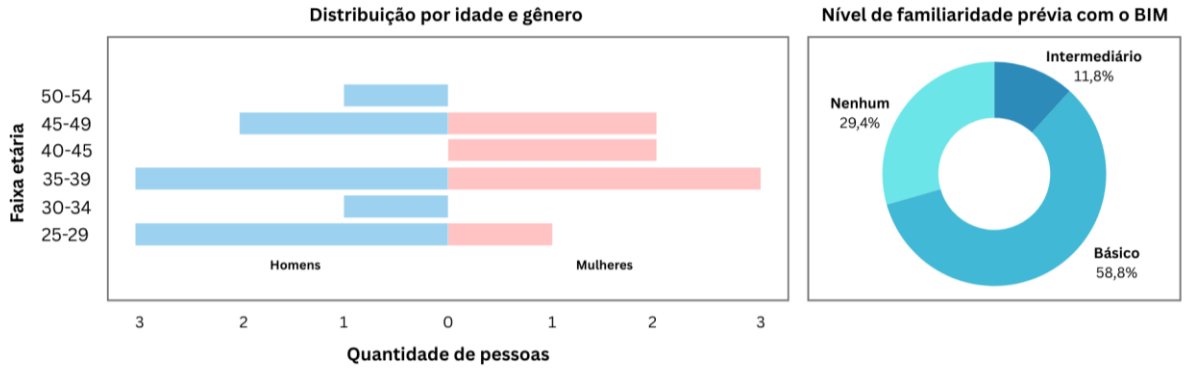


Figura 1: Gráficos de distribuição por idade e gênero e nível de familiaridade prévia com o BIM

No que se refere à familiaridade prévia com o BIM, observa-se predominância de níveis classificados como inexistente ou básico, com reduzida representação de níveis intermediários e ausência de domínio avançado. Esse dado confirma que a implementação teve início em um contexto de baixa maturidade técnica média, reforçando o caráter desafiador do processo e afastando a hipótese de uma equipe previamente especializada.

A heterogeneidade identificada — tanto em termos técnicos quanto de trajetória profissional — configura um elemento central para a análise da implementação, uma vez que diferenças de repertório e experiência tendem a ampliar a complexidade dos processos colaborativos em ambientes BIM, especialmente em fases iniciais de adoção.

4.1 Condições pessoais e organizacionais para a capacitação

Os dados relacionados às condições pessoais e profissionais dos participantes revelam aspectos relevantes para a compreensão do processo formativo adotado. A maioria dos respondentes declarou-se casada, com filhos, e parte significativa informou exercer outra atividade remunerada além do vínculo com o Sesc e o Senac/RN. Soma-se a isso o tempo médio de deslocamento diário ao local de trabalho, que, para parcela expressiva da equipe, ultrapassa 30 minutos.

Esse conjunto de fatores sugere limitações objetivas para a realização de processos de capacitação extensivos fora do ambiente institucional. Em cenários dessa natureza, iniciativas formativas dissociadas da rotina de trabalho tenderiam a competir diretamente com outras dimensões da vida pessoal e profissional, exigindo sacrifícios adicionais que poderiam comprometer a adesão, a motivação e a continuidade da aprendizagem.

Nesse sentido, os dados empíricos reforçam a importância de modelos de capacitação integrados ao contexto organizacional, capazes de respeitar as condições reais dos profissionais e de promover aprendizagem contínua sem sobrecarga excessiva.

Em resposta a essas condições, a instituição estruturou um modelo de capacitação alinhado às características e limitações da equipe. Os treinamentos são realizados presencialmente na própria infraestrutura institucional, com todos os recursos necessários ao desenvolvimento das atividades, ocorrendo duas vezes por semana. A carga horária foi organizada de modo a integrar o processo formativo à rotina de trabalho, contemplando uma hora dentro do expediente e uma hora adicional dedicada ao treinamento, evitando a necessidade de deslocamentos extras ou a sobrecarga da jornada diária dos colaboradores.

Complementarmente, são ofertadas atividades de capacitação em formato online, com suporte contínuo, ampliando as possibilidades de aprendizagem e acompanhamento. Outro aspecto relevante refere-se ao direcionamento prático do conteúdo formativo, desenvolvido a partir de demandas reais da instituição. Os exercícios e atividades utilizam modelos e padrões próprios do Sesc-Senac/RN, orientados ao desenvolvimento de projetos futuros, o que contribui para maior aderência entre capacitação e aplicação prática.
Essa abordagem evidencia o alinhamento entre o processo de implementação do BIM e as diretrizes institucionais, incluindo o compromisso com políticas sociais e organizacionais, ao mesmo tempo em que favorece a consolidação de práticas colaborativas e a internalização gradual dos novos fluxos de trabalho.

4.2 Evolução do nível de maturidade BIM da equipe

Ao longo do período analisado, foi realizada uma avaliação comparativa da maturidade BIM da equipe, utilizando critérios próprios, considerando dois momentos distintos: o diagnóstico inicial (2025.1) e a reavaliação após as ações de implementação e capacitação (2025.2), conforme apresentado na Figura 2.

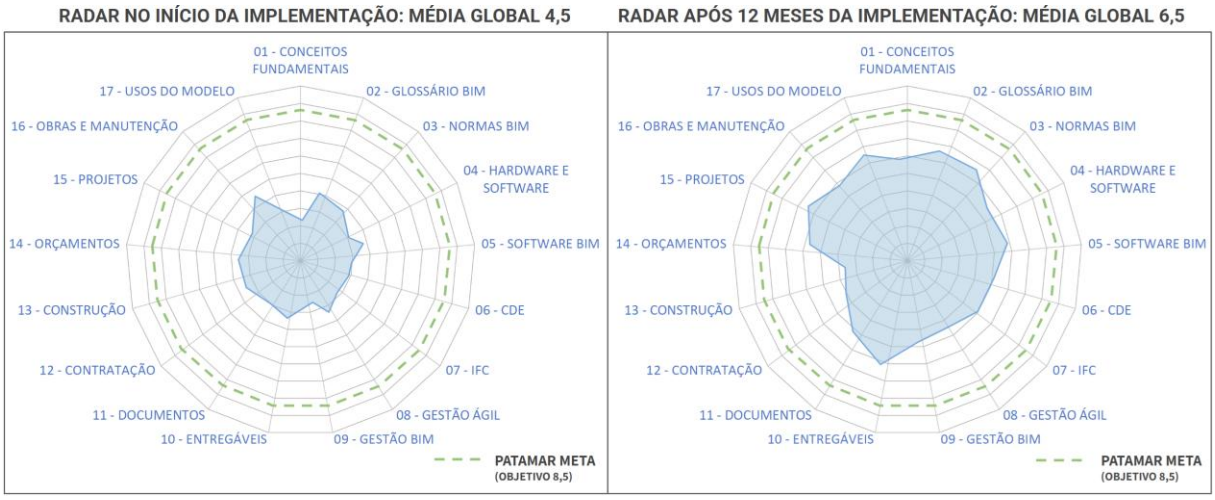


Figura 2: Evolução do nível médio de maturidade BIM da equipe

As ações implementadas ao longo do período analisado incluíram, principalmente, a realização de capacitações estruturadas em BIM, a reorganização de fluxos de trabalho com base em princípios colaborativos, a introdução gradual de ferramentas digitais de modelagem e gestão da informação, bem como a promoção de integração entre as equipes técnicas por meio de reuniões e atividades práticas orientadas.
Entretanto, os resultados também indicam que o nível de maturidade alcançado permanece majoritariamente em um estágio intermediário, não representando ainda o patamar meta definido para a organização. Tal constatação reforça que o processo de evolução da maturidade BIM é gradual e contínuo.
O patamar meta definido para a organização corresponde a um nível médio de maturidade BIM mensurado em um índice, segundo os critérios representados na Figura 2, equivalente a 8,5, representando um estágio avançado de consolidação das práticas. Nesse nível, espera-se a integração entre processos, tecnologia e pessoas, com adoção estruturada de fluxos

colaborativos, uso consistente de ambientes comuns de dados (CDE), domínio das ferramentas e padrões BIM, além da incorporação dos usos do modelo ao longo dos ciclos de vida aplicáveis. Esse patamar reflete uma atuação orientada por dados, com alto grau de interoperabilidade, clareza nos papéis e responsabilidades, e tomada de decisão baseada em informação confiável.

4.3 Percepções qualitativas sobre cultura, competências e processos

A análise das respostas abertas fornecidas pelos participantes permitiu identificar padrões recorrentes de percepção acerca dos fatores que influenciam a implementação do BIM na instituição. Para fins de síntese visual e identificação de tendências, os dados qualitativos foram organizados por meio de categorização temática e representados em uma nuvem de palavras (Figura 3).



Figura 3: Nuvem de palavras gerada a partir das respostas abertas dos questionários

Os termos mais recorrentes estão associados a comunicação, colaboração, integração, organização e treinamento, reforçando a natureza sociotécnica do BIM.

Para além da representação visual, foi realizada análise de conteúdo temática estruturada, identificando categorias como necessidade de melhoria da comunicação intersetorial, fortalecimento da capacitação contínua e formalização de processos.

Esses achados indicam que, embora haja avanços na organização das informações e integração entre áreas, ainda persistem desafios relacionados à consolidação de práticas colaborativas e institucionalização dos processos.

4.4 Síntese dos Resultados

De forma integrada, os resultados evidenciam que a implementação do BIM no Sesc-Senac/RN ocorre em um ambiente marcado por heterogeneidade técnica, diversidade de perfis profissionais e restrições reais de tempo e disponibilidade. Ainda assim, observam-se avanços consistentes na maturidade da equipe, associados à adoção de um modelo de capacitação alinhado ao contexto organizacional e à reorganização progressiva dos processos institucionais.

O desempenho alcançado mostra-se diretamente relacionado às estratégias institucionais adotadas para viabilizar a capacitação, evidenciando o papel estruturante da organização no processo de implementação.

Nesse sentido, os achados indicam que a adoção do BIM, especialmente em instituições complexas, depende da criação de condições organizacionais que favoreçam o aprendizado contínuo e a adaptação gradual das equipes. Ao integrar a capacitação à rotina de trabalho e

considerar as limitações reais dos profissionais, a instituição promove não apenas a evolução técnica, mas também a consolidação de uma cultura colaborativa.

5. Conclusões

A partir da análise desenvolvida, o estudo confirma que a implementação do BIM em instituições organizacionalmente complexas demanda a articulação equilibrada entre tecnologia, pessoas e cultura organizacional, superando a visão restrita do BIM como mera inovação instrumental. No contexto do Sesc-Senac/RN, marcado por equipes heterogêneas, múltiplas funções institucionais e restrições reais de tempo e disponibilidade, o processo evidenciou que os fatores humanos e organizacionais exercem papel determinante na sustentabilidade da adoção.

Os resultados indicam avanços consistentes na clareza dos processos, na organização das informações e na comunicação intersetorial, refletindo ganhos progressivos de maturidade BIM ao longo do período analisado. A evolução observada, tanto nos dados quantitativos quanto nas percepções qualitativas, demonstra um movimento de crescimento coerente com o estágio inicial de implementação. Ainda assim, permanecem lacunas relacionadas ao desenvolvimento de competências, à consolidação de papéis e à formalização de fluxos de informação, o que fundamenta a classificação da maturidade em um nível intermediário. Esse posicionamento deve ser compreendido à luz de um processo ainda em curso, cujo patamar estratégico almejado pela instituição corresponde a uma maturidade mais elevada, com média compartilhada superior a 8,5, associada à consolidação de práticas colaborativas, integração entre áreas e maior formalização dos processos.

Como contribuição prática, o estudo aponta a necessidade de estruturar uma governança BIM formal, com patrocínio executivo e representação intersetorial, capaz de alinhar prioridades, políticas internas e indicadores de desempenho, em consonância com a Estratégia BIM BR. Soma-se a isso a adoção de práticas de gestão da informação alinhadas à ISO 19650, incluindo a definição de requisitos de informação, a designação clara de responsabilidades e a implantação de um Ambiente Comum de Dados com procedimentos padronizados. No campo do desenvolvimento de competências, os achados reforçam a importância de modelos formativos integrados, que articulem hard e soft skills e estejam alinhados às condições reais dos profissionais, favorecendo a aprendizagem contínua e contextualizada.

Por fim, o estudo demonstra que, em instituições paraestatais como o Sistema S, a adoção do BIM tende a ocorrer de forma gradual, sendo diretamente condicionada à capacidade organizacional de estruturar processos, desenvolver competências e sustentar a mudança ao longo do tempo. Como limitações, destacam-se o caráter intencional e não probabilístico da amostra e sua restrição a um único contexto institucional, o que limita a generalização dos resultados, bem como o uso de instrumentos de avaliação de maturidade adaptados ao contexto analisado. Ainda assim, os achados oferecem subsídios teóricos e aplicados para modelos de adoção BIM mais realistas, progressivos e sensíveis às especificidades de organizações complexas no contexto brasileiro.

Referências

[1] C. M. Eastman, P. Teicholz, R. Sacks, and K. Liston, *BIM handbook: a guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers, and contractors*. Hoboken, NJ, USA: Wiley, 2008.
[2] X. Wang, M. J. Kim, P. E. D. Love, and S.-C. Kang, "Augmented Reality in built environment: Classification and implications for future research," *Automation in Construction*, vol. 32, pp. 1–13, Jul. 2013. doi: 10.1016/j.autcon.2012.11.021.
[3] ISO TC184/SC4, "ISO 16739:2013 Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing in the construction and facility management industries," International Organization for Standardization (ISO), Geneva, Switzerland, 2013.
[4] ISO, "ISO 19650-1: Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) — Information management using building information modelling — Part 1: Concepts and principles," International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, 2018.
[5] I. Sutherland, "Sketchpad, A Man-Machine Graphical Communication System," Ph.D. dissertation, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA, USA, 1963.
[6] B. Succar, "Building information modelling framework: a research and delivery foundation for industry stakeholders," *Automation in Construction*, vol. 18, no. 3, pp. 357–375, 2009.
[7] B. Succar and M. Kassem, "Macro-BIM adoption: conceptual structures," *Automation in Construction*, vol. 57, pp. 64–79, 2015.
[8] R. Volk, J. Stengel, and F. Schultmann, "*Building Information Modeling* (BIM) for existing buildings—Literature review and future needs," *Automation in Construction*, vol. 38, pp. 109–127, 2014.
[9] OLOFSSON HALLÉN, K.; FORSMAN, M.; ERIKSSON, A. Interactions between human, technology and organization in Building Information Modelling (BIM): a scoping review of critical factors for the individual user. International Journal of Industrial Ergonomics, v. 97, p. 103480, 2023. DOI: 10.1016/j.ergon.2023.103480.
[10] KOTTER, J. P. Leading Change. Boston: Harvard Business School Press, 1996.
[11] SCHEIN, E. H. Organizational Culture and Leadership. 4. ed. San Francisco: Jossey-Bass, 2010.
[12] HARTMANN, T.; FISCHER, M. Supporting the constructability review with 3D/4D models. Building Research & Information, 2007.
[13] CEROVSEK, T. A review and outlook for a 'Building Information Model' (BIM). Advanced Engineering Informatics, 2011.
[14] BARISON, M. B.; SANTOS, E. T. BIM teaching strategies: an overview of the current approaches. Proceedings of ICCCBE, 2011.

1 2 3 4 5

BUILDING INFORMATION MODELING (BIM) NO ENSINO DE ARQUITETURA: ESTUDO DE CASO EM UNIVERSIDADES BRASILEIRAS

Frederico Braida, Monica S Salgado

ptBIM

BUILDING INFORMATION MODELING (BIM) NO ENSINO DE ARQUITETURA: ESTUDO DE CASO EM UNIVERSIDADES BRASILEIRAS

Frederico Braida[(1)], Monica S Salgado[(2)]

(1) Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, ORCID 0000-0002-7735-8380
(2) Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, ORCID 0000-0003-4098-8335

Resumo
A integração de tecnologias digitais nos cursos de graduação em arquitetura enfrenta desafios. Embora a maioria dos profissionais reconheça a importância de processos como a Modelagem da Informação da Construção (*Building Information Modeling* - BIM), muitos docentes a consideram importante, mas não necessariamente fundamental para ser incorporado ao currículo. No Brasil, desde o estabelecimento da Estratégia BIM BR, os esforços para capacitar os profissionais aumentaram significativamente. Em 2021, a nova Lei de Licitações brasileira estabeleceu o BIM como preferencial nas licitações públicas. Diante desse cenário, algumas universidades criaram o que se convencionou chamar de "Células BIM", reunindo docentes, discentes e pesquisadores interessados em incorporar o BIM no ensino. Este artigo apresenta uma análise do desempenho de duas Células BIM instaladas em diferentes universidades federais brasileiras. Foi realizado um levantamento com docentes dos cursos de graduação em Arquitetura e Urbanismo para identificar opiniões e interesse em relação ao BIM. Os resultados revelam visões divergentes e convergências. No entanto, o principal problema apontado pelos docentes refere-se à falta de tempo para se dedicar ao aprofundamento do conhecimento no tema. Esta constatação indica a necessidade de mudanças na forma de atuação das Células para que o BIM seja reconhecido como parte fundamental da formação em Arquitetura e Urbanismo e não como um processo independente.

1. Introdução

As inovações oferecidas pelas tecnologias digitais ao setor de arquitetura, engenharia, construção e operação (AECO) podem alterar significativamente as práticas profissionais. Dentre as alternativas, a Modelagem da Informação da Construção (*Building Information Modeling* - BIM) pode acelerar a gestão de projetos por meio de um processo baseado na interoperabilidade, permitindo que arquitetos e engenheiros trabalhem de forma colaborativa.

No Brasil, observa-se um aumento das pesquisas sobre o tema, especialmente a partir de 2007. No entanto, o ritmo acelerado das pesquisas não foi acompanhado pelas mudanças necessárias nos currículos dos cursos de graduação em arquitetura e engenharia civil. O Decreto nº 9.983, de 2019, estabeleceu as bases da Estratégia Nacional de BIM, e, em 2024, o Decreto 11.888 publicou a Nova estratégia BIM BR com ênfase em três eixos: Eixo A - estruturação da administração pública para o uso do BIM; Eixo B - capacitação e formação profissional em BIM; e Eixo C - apoio à pesquisa, desenvolvimento e inovação [1]. Merece destaque o eixo B, que tem, entre as diretrizes principais, o fomento ao ensino superior e técnico em BIM, o incentivo à revisão das matrizes curriculares e a criação de novas Células BIM – definidas como grupos organizados de professores e alunos de uma instituição de ensino envolvidos na proposição e no desenvolvimento de um Plano de Implementação de BIM curricular (PIBc) [2]. O interesse em disseminar o BIM no ensino levou, desde 2020, à instituição de Células, formando-se uma rede.

A Rede de Células BIM é fomentada pela Associação de Tecnologia no Ambiente Construído (ANTAC). Trata-se de uma iniciativa multiplicadora de Células BIM que propõe estabelecer e formular metas de curto, médio e longo prazos na identificação de processos, políticas e tecnologias [3] necessárias para a difusão do BIM nos planos curriculares dos cursos de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Expressão Gráfica, Engenharia Elétrica, Engenharia Mecânica, Técnico em Edificações e em Obras [2].

Pesquisas sobre o tema identificam três estratégias principais adotadas pelas instituições superiores na formação das Células BIM: (1) de cima para baixo (*Top-down*): decisão da direção ou coordenação do curso; (2) de baixo para cima (*Bottom-up*): a iniciativa parte do corpo discente; e (3) do meio para fora (*Middle-out*): ações individuais de docentes que atuam como multiplicadores do BIM [4].

Com o objetivo de avaliar a eficiência e eficácia das Células BIM instaladas em duas universidades brasileiras (Universidade Federal do Rio de Janeiro [UFRJ] e Universidade Federal de Juiz de Fora [UFJF]), realizou-se uma pesquisa junto aos docentes do corpo permanente das duas instituições que tiveram suas Células instaladas em 2020 em iniciativas distintas, sendo a Célula A, da UFRJ, instalada conforme a estratégia *Middle-out*, e a Célula B, da UFJF, instalada através da estratégia *Bottom-up*.

Este artigo tem por objetivo apresentar uma análise comparativa do desempenho dessas duas Células BIM. A pesquisa foi aprovada em outubro de 2024 pelo Comitê de Ética em Pesquisa em com Seres Humanos da UFJF (via Plataforma Brasil), sob o número 83666424.0.0000.5147. Entende-se que os resultados podem trazer contribuições relevantes para a continuidade do trabalho dos docentes e discentes envolvidos no processo de disseminação do BIM no ensino.

2. Fundamentação teórica

Pesquisas apresentam diferentes definições para BIM, sendo uma das mais disseminadas aquela que considera como uma tecnologia de modelagem e processos associados para produzir, comunicar e analisar os modelos digitais das edificações [5].

A adoção e implementação do BIM nas empresas envolve não apenas o treinamento em ferramentas (uso de softwares), mas também uma mudança cultural, que implica a revisão nos processos de trabalho de forma a viabilizar o desenvolvimento de projetos de forma colaborativa e integrada. Da mesma forma, a inserção do BIM no ensino não pode se limitar à

discussão sobre as ferramentas, mas deve desenvolver, no futuro profissional, a capacidade de gestão do processo de projeto.

A construção de modelos digitais realísticos depende da reunião dos profissionais de projeto e construção desde os estágios iniciais do processo, prática que não ocorria tradicionalmente na construção civil. Quanto maior o volume de informações no modelo, maior a acurácia da representação digital. Esse novo processo de projeto tem alterado as funções dos profissionais, e mesmo demandado a criação de postos de trabalho inexistentes em anos anteriores, tal como o de gerente BIM [6].

Além disso, o sucesso da incorporação do BIM no ensino depende de aspectos como: definição das prioridades e interesses da instituição (direção ou coordenação de curso), disponibilidade de infraestrutura adequada, análise curricular, disponibilidade de recursos humanos, gestão do conhecimento e gestão de mudanças [7]. Esses aspectos devem ser abordados de forma evolutiva, viabilizando o amadurecimento da instituição em relação ao BIM, desde a fase de preparação, passando pela implementação e finalmente inovação, como ilustra a Figura 1.

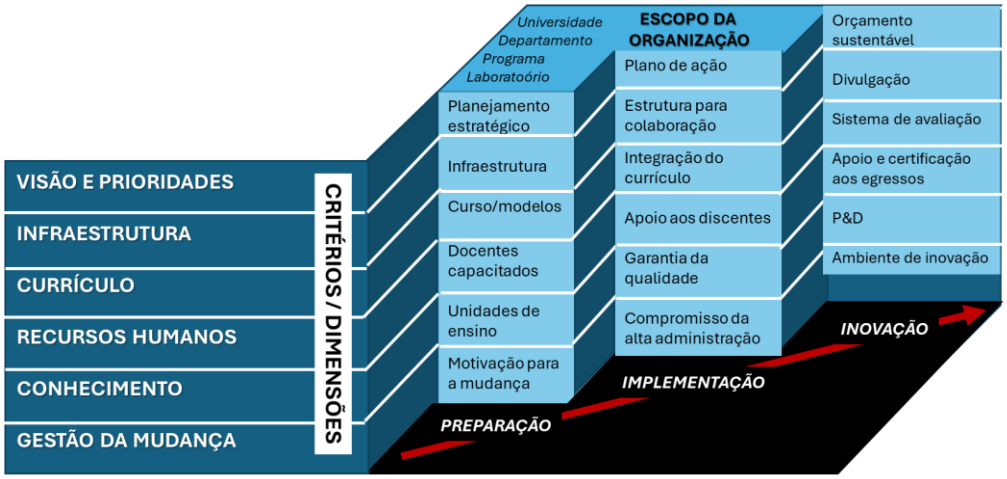


Figura 1. Modelo para adoção do BIM no Ensino. Adaptado de [7].

As dificuldades e os desafios para inserir o BIM no ensino parecem ser as mesmas, independentemente da instituição ou mesmo do país, uma vez que qualquer mudança significativa no *status quo* estabelecido tende a encontrar resistências. Entre as dificuldades encontradas na academia, no que se refere à inclusão do BIM, citam-se [6]:

1. questionamentos sobre como inserir novos conteúdos num currículo tão intenso;
2. relutância na mudança de práticas didáticas estabelecidas por muitos anos;
3. para aqueles que possuem um nicho de atuação, pode existir resistência em absorver um tema sobre o qual não possuem domínio ou entrar numa área pouco conhecida;
4. dada a rapidez na qual as tecnologias que dão suporte ao BIM mudam, os acadêmicos que estão fora do mercado de trabalho podem se sentir pressionados pela necessidade de atualização em temas que tem pouca ou nenhuma familiaridade; e
5. as escolas de arquitetura e construção tradicionais podem encontrar dificuldades na transição, e questões surgem, como, por exemplo, quem assume a responsabilidade (e quem vai pagar) pela definição das novas interfaces entre disciplinas.

Entende-se que não existirá uma fórmula única para a inserção do BIM nos cursos, uma vez que o processo dependerá das características estruturais de cada curso, e das políticas

(pedagógicas) de cada instituição. Daí a importância da caracterização do curso antes de definir a estratégia de adoção.

3. Metodologia

Desde 2020, no Brasil, observa-se a instalação das "Células BIM", que têm atuado de forma distinta, a depender da instituição em que estão inseridas. A análise dos resultados obtidos em cada célula não tem como objetivo avaliar qual teria sido a melhor estratégia, uma vez que as estratégias adotadas dependem das características próprias de cada instituição e cursos em que o processo foi realizado. Porém, apesar das diferenças estruturais na formação de tais Células, entende-se que a comparação entre a percepção dos docentes em relação ao BIM das instituições com Células estabelecidas pode trazer informações importantes sobre as ações futuras para continuidade do processo de disseminação. Cabe ressaltar que a percepção sobre o tempo de permanência das Células varia de uma instituição para outra. Algumas entendem que a Célula existe nas etapas iniciais do processo, deixando de existir como estrutura independente, conforme o BIM se integra ao ensino. Outras entendem a Célula como uma estrutura perene, que deve acompanhar as estratégias de incorporação do BIM ao ensino, mesmo após a disseminação do BIM, indicando diferentes alternativas.
Dessa forma, foi submetido ao Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos da UFJF, via Plataforma Brasil, a pesquisa registrada e aprovada sob o número 83666424.0.0000.5147, que teve como objetivo identificar a percepção dos docentes do corpo permanente do curso de Arquitetura e Urbanismo da UFRJ e da UFJF em relação ao BIM. Na composição da amostra foram considerados apenas os docentes do corpo permanente dos cursos de graduação em Arquitetura e Urbanismo das duas instituições, uma vez que os professores temporários permanecem apenas 2 anos. Na UFRJ, foram contactados os docentes de cinco dos seis departamentos da Faculdade, responsáveis pelas disciplinas com maior aderência ao BIM, conforme análise da matriz curricular, totalizando 80 docentes. Na UFJF foram contactados os 21 docentes permanentes da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo.
Foram enviados, por e-mail, questionários com cinco questões, quais sejam: (1) *Você conhece a metodologia BIM?*; (2) *Em quais áreas do conhecimento você atua junto ao curso de Arquitetura e Urbanismo da sua instituição?* (Poderia marcar mais de uma opção); (3) *Você utiliza algum recurso computacional no ensino dos conteúdos da sua disciplina, ou na entrega de trabalhos?*; (4) *Você tem interesse em aprofundar os seus conhecimentos sobre a metodologia BIM?*; e (5) *Teria alguma sugestão para aprimorar o trabalho da Célula BIM?* O número limitado de perguntas se deveu ao fato de se buscar aplicar um questionário que fosse bastante rápido de ser respondido, para que tivéssemos um maior êxito na taxa de repostas.

4. Contextualização das Células BIM FAU UFRJ e UFJF

4.1 Estudo de caso A: Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da UFRJ (FAUUFRJ)

A Célula BIM da FAUUFRJ foi criada a partir de um projeto de pesquisa, e contou com apoio financeiro para instalação de um laboratório com mobiliário, computadores e uma *smart TV*. Esse laboratório foi instalado nas dependências do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura da instituição (PROARQ/UFRJ). As ações adotadas para disseminação do BIM foram

organizadas em três anos (2021 a 2024) – período de vigência do projeto de pesquisa, e envolveram: identificação dos docentes com interesse no BIM; realização do diagnóstico utilizando a Matriz de Maturidade BIM das Instituições de Ensino Superior [8]; definição da equipe de trabalho da Célula; e análise da matriz curricular através do método dos componentes curriculares [9], ilustrada na Figura 2.
Outras ações relacionadas ao trabalho envolveram realização de *workshops* abertos à comunidade e oficinas dedicadas aos docentes, e a oferta de disciplinas na graduação e pós-graduação. Paralelamente, foi construído um *site* reunindo os textos publicados sobre o tema, com destaque para um livro reunindo algumas estratégias didáticas formuladas pelos docentes e discentes de pós-graduação envolvidos na iniciativa [10].

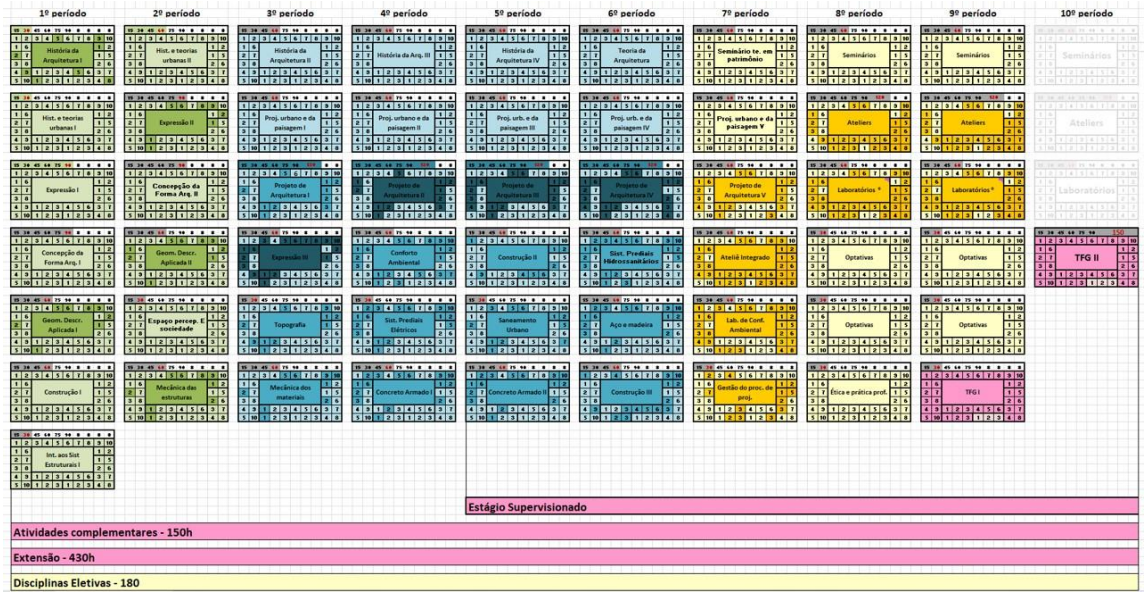


Figura 2. Análise dos componentes curriculares – Matriz caso A (FAUUFRJ) [11].

O projeto de estruturação e implementação da Célula BIM da FAUUFRJ teve a duração de três anos e os docentes envolvidos diretamente dão continuidade ao trabalho de disseminação, independentemente de um projeto de pesquisa específico em andamento.
No próximo semestre, na UFRJ, será ofertada uma disciplina eletiva, intitulada "BIM na construção civil". Tal disciplina está voltada para alunos do terceiro ano do curso (5º período) e tem caráter teórico-prático, contando com uma carga horária de 30 horas por semestre (2 horas de aulas semanais, ao longo de 15 semanas). Sabe-se que a oferta de uma única disciplina não é suficiente para garantir a formação de competências necessárias ao trabalho no ambiente BIM. No entanto a iniciativa mostra-se como uma medida importante na disseminação do tema junto aos arquitetos em formação.

4.2 Estudo de caso B: Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da UFJF (FAUUFJF)

Nesta instituição, as iniciativas formais em benefício à disseminação do BIM tiveram início anos antes de instituição da Célula, com a criação de disciplina obrigatória para o terceiro período intitulada Representação Digital Técnica II (RDT II), na reforma curricular de 2012 [12]. Essa disciplina foi concebida (e permanece até os dias de hoje) com a seguinte ementa: "Abordagem teórica e aplicação prática, na representação de arquitetura e urbanismo, das

técnicas básicas de modelagem paramétrica para a elaboração de desenhos técnicos a partir de ferramentas CAD, especificamente sob plataforma BIM [13]".
Em uma pesquisa de mestrado [14], a matriz curricular da FAUUFJF foi estudada e foi proposto um plano de adequação da disciplina RDT II, integrando-a às demais, ampliando o desenvolvimento das competências BIM. Isso evidencia que a disciplina ainda apresenta um potencial maior para a disseminação do BIM de forma integrada, diferentemente do que acontece atualmente.
A Célula BIM da FAUUFJF foi instituída dez anos após essa reforma curricular (em 2022), e se caracterizou pela estratégia *Bottom-up*. A estruturação dessa célula se deu majoritariamente pelo interesse de uma mestranda do Programa de Pós-Graduação em Ambiente Construído (PROAC) da UFJF, que mobilizou coordenadores, professores, técnico-administrativo em educação (TAE), discentes, egressos e colaboradores, além de uma professora de outra Instituição. No âmbito dessa célula, foram desenvolvidas ações de ensino, pesquisa e extensão. Dentre as ações de extensão, destacam-se a realização da I, II e III Semana Célula BIM FAU/UFJF. Também foram realizadas duas oficinas sobre o BIM durante as Semanas do Calouro, em 2023 e 2024. Já, no campo da pesquisa, desenvolveu-se uma dissertação de mestrado, dois projetos de iniciação científica, e um projeto em conjunto com a Célula BIM da FAUUFRJ, no âmbito do Projeto Universal 2023, intitulado "Metodologias digitais e desenvolvimento sustentável: aplicações na produção de edificações e cidades sustentáveis e inteligentes" (aprovado na Chamada CNPq/MCTI nº 10/2023 - Faixa B - Grupos Consolidados).
Algumas informações sobre a Célula BIM FAUUFJF encontram-se disponibilizadas no site da FAUUFJF [15]. Dentre os trabalhos técnicos, também foi realizada a análise da matriz curricular através do método dos componentes curriculares [9], ilustrada na Figura 3.

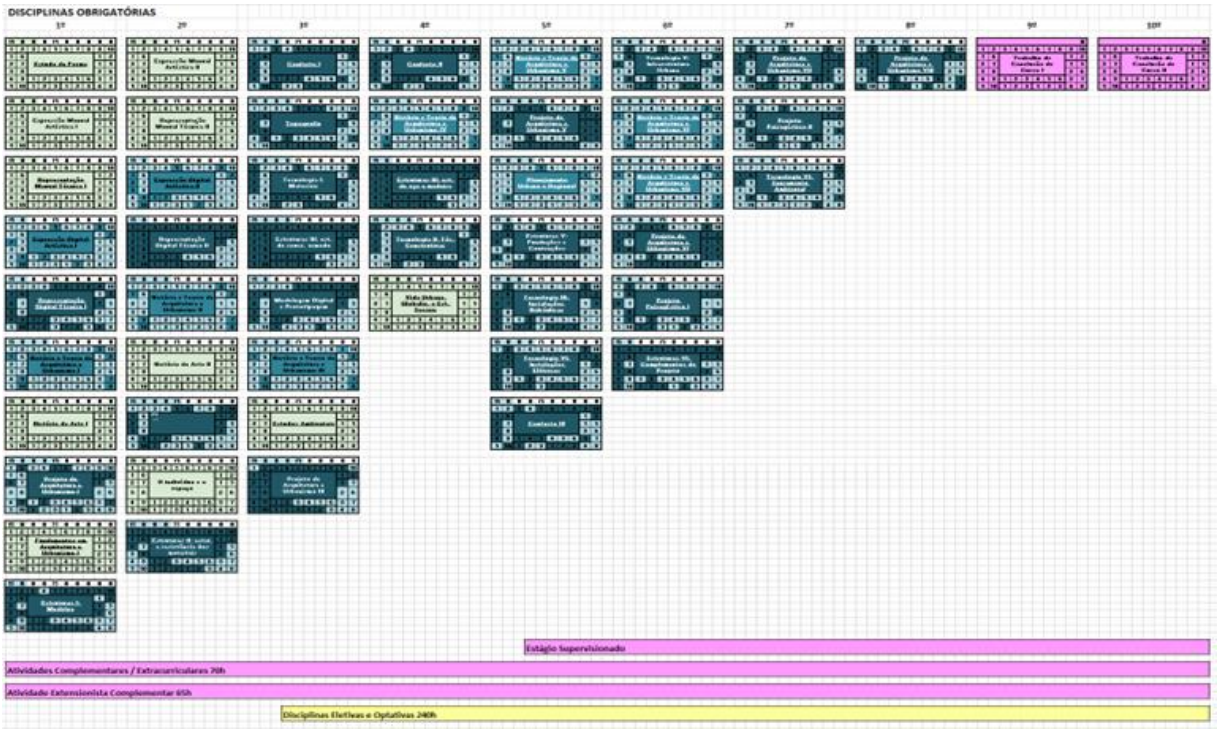


Figura 3. Análise dos componentes curriculares – Matriz caso B (FAUUFJF).

5. Resultados e Discussão

De maneira geral, obteve-se uma taxa de resposta de 30% dos participantes nas duas instituições, sendo 24 na UFRJ e 12 na UFJF. Este dado por si só, constitui um indicador do interesse no tema. De toda forma, os resultados trazem constatações relevantes sobre a questão. A comparação entre os resultados obtidos nas duas instituições é apresentada no Quadro 1:

Quadro 1: Comparação entre os resultados obtidos na UFRJ e UFJF

Perguntas	**FAUUFRJ**	**FAUUFJF**
Você conhece a metodologia BIM?	87,5% do total dos respondentes afirmou conhecer o BIM.	66,7% do total dos respondentes afirmou conhecer o BIM
Em quais áreas do conhecimento você atua junto ao curso de Arquitetura e Urbanismo da sua instituição? (Pode marcar mais de uma opção)	A maioria indicou a disciplina de projeto de arquitetura (52,2%) e em seguida tecnologia (43,4%)	A maioria indicou a disciplina de projeto de arquitetura (72,7%) depois representação gráfica (45,5%) e história e teoria (45,5%)
Você utiliza algum recurso computacional no ensino dos conteúdos da sua disciplina, ou na entrega de trabalhos?	REVIT, AUTOCAD e EXCEL foram as ferramentas citadas pela maioria. Um grupo indicou RHINOCEROS e SKETCHUP	O REVIT e o AUTOCAD foram citados por mais de um participante. Também foram citados SCKETUP, RHINOCEROS e GRASSSHOPPER.
Você tem interesse em aprofundar os seus conhecimentos sobre a metodologia BIM?	A grande maioria (52,2%) afirma ter interesse, mas não dispõe de tempo para aprender.	A grande maioria (66,7%) afirma ter interesse, mas não dispõe de tempo para aprender.
Teria alguma sugestão para aprimorar o trabalho da Célula BIM?	As principais sugestões foram: oferta de treinamento e capacitação para os alunos de graduação atuarem como monitores auxiliando as disciplinas; acesso livre aos computadores da Célula BIM (instalados num laboratório com controle de acesso); continuidade do processo de divulgação com oficinas e workshops; associação das ações às aulas de projeto de arquitetura para aplicar nas disciplinas de projeto.	As principais sugestões foram: ampla divulgação da Célula BIM para docentes e discentes e a oferta de treinamentos para o corpo docente

Fonte: os autores

Os resultados evidenciam que há aproximações entre as respostas dos docentes da UFRJ e da UFJF, sobretudo quando se percebe que mais da metade dos respondentes de ambas as instituições conhecem a metodologia BIM e que a maioria dos respondentes ministram a disciplina de projeto de arquitetura. REVIT e AUTOCAD foram os programas mais citados com menções aos programas RHINOCEROS e SKETCHUP.

Observou-se convergência na área de atuação dos docentes que responderam ao questionário, uma vez que a disciplina "projeto de arquitetura" foi indicada pela maioria nas duas instituições. Com relação ao acesso aos laboratórios, a divergência no comentário refere-se ao fato da UFRJ já ter um laboratório específico do projeto da Célula BIM enquanto na UFJF o laboratório é compartilhado com o laboratório de ensino.

Em relação ao interesse de os professores ampliarem seus conhecimentos sobre o BIM, a grande maioria do corpo docente das duas instituições afirma ter interesse, mas não dispõe de tempo para aprender, o que se evidencia como uma grande barreira para a disseminação de novos conhecimentos entre os docentes. Se não houver incentivo/ações de capacitação docente nas instituições, dificilmente será possível atingir as metas definidas pelo Governo Federal Brasileiro na Nova Estratégia BIMBR.

Por fim, há também uma demanda por divulgação e treinamento/capacitação docente tanto na UFRJ quanto na UFJF. Percebe-se uma carência por oportunidades de capacitação. Essa é uma atividade que deve ser fomentada pelas Células BIM, pois há uma solicitação recorrente por parte dos participantes da pesquisa, o que se revela uma incoerência na medida que os próprios respondentes indicaram não ter tempo para se dedicar a qualquer treinamento adicional

A despeito das coincidências, pode-se cogitar que as diferentes estratégias de implantação das Células BIM influenciam o grau de disseminação do tema entre os docentes, mas não garantem, por si só, a integração efetiva do BIM ao currículo. A Célula da UFRJ, instalada segundo a estratégia *Middle-out*, apresentou maior índice de docentes que afirmam conhecer o BIM, o que pode estar relacionado à existência de infraestrutura dedicada, apoio institucional e ações sistemáticas de capacitação e divulgação das ações da Célula. Por outro lado, a experiência *Bottom-up*, da UFJF, demonstra forte mobilização acadêmica, porém com menor capilaridade institucional entre docentes. Os dados sinalizam para a oportunidade de desenvolvimento de mais ações de divulgação do BIM e da própria Célula FAUUFJF.

O dado mais significativo, contudo, que emergiu da pesquisa é o paradoxo identificado em ambas as instituições: embora a maioria dos docentes reconheça a importância do BIM e demonstre interesse em aprofundar seus conhecimentos, demandando ações de capacitação, o principal obstáculo relatado reiteradas vezes é a falta de tempo. Esse resultado indica que a resistência à incorporação do BIM, *a priori*, não se configura como rejeição conceitual, mas como limitação estrutural associada às condições de trabalho docente nas universidades públicas brasileiras e à dificuldade de atualização contínua frente à rápida evolução tecnológica.

Observa-se, ainda, por meio das respostas obtidas com a terceira pergunta, que o BIM permanece fortemente associado às ferramentas digitais, conforme indicado pelos softwares mencionados, o que revela uma compreensão ainda predominantemente instrumental, portanto, limitada. Essa percepção contrasta com a literatura, que enfatiza o BIM como transformação de processos e de cultura colaborativa [3], sugerindo que o nível de maturidade institucional em relação ao tema ainda se encontra em estágio inicial. Há uma necessidade de se passar dessa percepção operacional e técnica, para uma percepção processual e metodológica.

Nesse contexto, as Células BIM devem assumir um papel relevante como instâncias de mediação, formação continuada e articulação interdisciplinar, difusoras do BIM de forma

integrada, levando-se em conta as diferentes realidades dos cursos e das instituições. Porém, entende-se que a ação isolada das Células não será suficiente para promover a consolidação curricular do BIM, sendo necessária a articulação com políticas pedagógicas, revisão das matrizes curriculares e reconhecimento formal do tempo dedicado à capacitação docente.

6. Considerações finais

Este artigo analisou comparativamente o desempenho de duas Células BIM instaladas em universidades federais brasileiras (UFRJ e UFJF), buscando compreender como diferentes estratégias de implantação influenciam a percepção docente e a disseminação do BIM no ensino de Arquitetura e Urbanismo. Os resultados indicam que a existência de estrutura institucional favorece a difusão inicial do tema do BIM, mas não assegura sua plena integração curricular.
Verifica-se que a principal contribuição do estudo está na identificação de que o obstáculo predominante não é a rejeição ao BIM em si mesmo, mas a limitação de tempo e de condições para a capacitação docente. Isso revela que a incorporação do BIM no ensino depende menos de iniciativas isoladas e mais de políticas institucionais que reconheçam a atualização tecnológica permanente como parte da atividade docente.
Constatou-se também que o BIM ainda é percebido majoritariamente sob a perspectiva das ferramentas informáticas, indicando a necessidade de avançar para uma compreensão baseada em processos colaborativos e gestão da informação, o que corresponde também a uma transição da adoção de softwares de prancheta eletrônica para softwares de modelagem paramétrica. Nesse cenário, as Células BIM devem desempenhar um papel estratégico como espaços de experimentação e formação, mas sua efetividade está condicionada à integração com a estrutura curricular e à institucionalização das ações, em articulação com os Núcleos Docentes Estruturantes e/ou Colegiados de Curso.
Como limitação da pesquisa apresentada neste artigo, destaca-se o número reduzido de respondentes, embora os resultados revelem tendências significativas. Pesquisas futuras podem ampliar a amostra, incluir outras instituições e investigar o impacto direto das Células BIM nas práticas pedagógicas e nos projetos desenvolvidos pelo corpo discente.
Ao final, deve-se mencionar que este artigo contribui para o avanço das discussões sobre a implementação do BIM no ensino superior brasileiro e sobre o papel das Células BIM junto aos corpos docentes das instituições, reforçando a necessidade de abordagens estruturais e sistêmicas para a consolidação dessa transformação.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio à pesquisa – Bolsas de Produtividade e Projeto Universal.

Referências

[1] Brasil, *Decreto nº 11.888, de 22 de janeiro de 2024. Dispõe sobre a Estratégia Nacional de Disseminação do Building Information Modelling no Brasil – Estratégia BIM BR e institui o Comitê Gestor da Estratégia do Building Information Modelling – BIM BR*. [Online].

Available: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2024/decreto/D11888.htm

[2] R. C. Ruschel and S. L. Ferreira, "Rede de Células BIM ANTAC," in *Anais do 4º Encontro Nacional sobre o Ensino de BIM (ENEBIM)*, Porto Alegre: ANTAC, 2022. doi: 10.46421/enebim.v4i00.1952.

[3] B. Succar, "Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders," *Automation in Construction*, vol. 18, no. 3, pp. 357–375, 2009.

[4] N. R. Fantin and M. S. Salgado, "Strategies to incorporate BIM in the architecture learning process: Case studies," in *Proc. SIGraDi 2024 – Biodigital Intelligent Systems*, Barcelona, Spain, 2024, pp. 431–440.

[5] C. Eastman, P. Teicholz, R. Sacks, and K. Liston, *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2008.

[6] J. Macdonald, "A framework for collaborative BIM education across the AEC disciplines," in *Proc. 37th Annual Conference of the Australasian Universities Building Educators Association (AUBEA)*, The University of New South Wales, Australia, 2012, pp. 223–230.

[7] I. F. I. Maharika, A. I. Athas, A. I. Susanto, V. Abma, and Y. Yuriandala, "Building Information Modeling (BIM) adoption model for architectural education," *Journal of Design and Built Environment*, vol. 20, no. 3, pp. 22–42, 2020.

[8] J. S. Böes, J. D. P. Barros Neto, and M. M. X. Lima, "Modelo de Maturidade BIM para Instituições de Ensino Superior," *Ambiente Construído*, vol. 21, no. 2, pp. 131–150, 2021. [Online]. https://seer.ufrgs.br/index.php/ambienteconstruido/article/view/102447

[9] É. de S. Checcucci and A. L. de Amorim, "Método para análise de componentes curriculares: identificando interfaces entre um curso de graduação e BIM," *PARC: Pesquisa em Arquitetura e Construção*, vol. 5, no. 1, pp. 6–17, 2014. doi: 10.20396/parc.v5i1.8634540.

[10] M. S. Salgado (org.), *BIM no ensino de arquitetura: estratégias didáticas na formação profissional*. Coleção Aberto PROARQ, Rio de Janeiro, CAPES/Rio Books, 2023 .

[11] M. S. Salgado, a. C. Marques, L. M. B. Figueiredo. *Estruturação e implementação de Célula BIM na FAUUFRJ* . In: *BIM no ensino de arquitetura: estratégias didáticas na formação profissional*. M. S. Salgado (org) Coleção Aberto PROARQ, Rio de Janeiro, CAPES/Rio Books, 2023, pp 15 – 27

[12] F. Braida, "Ten years of BIM in the undergraduate architecture and urbanism program at the Federal University of Juiz de Fora: Achievements and challenges of the past, present, and future," in *Proc. SIGraDi 2024 – Biodigital Intelligent Systems*, Barcelona, Spain, 2024. [Online]. https://papers.cumincad.org/cgi-bin/works/paper/sigradi2024_611

[13] Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF), *Plano de ensino*, 2023. [Online]. https://sigam.ufjf.br/index.php/core/download/report/inline/f03df0ee1cbaf61bcc3f5e3a49aec3f5669e79b02e499.pdf

[14] R. A. Andrade, "Implementação do BIM no ensino: adequação de matrizes curriculares de cursos de arquitetura através da identificação de permeabilidades de conteúdo," M.S. thesis, Programa de Pós-Graduação em Ambiente Construído, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, Brasil, 2018.

[15] Universidade Federal de Juiz de Fora, "Célula BIM FAU/UFJF," 2026. [Online]. Available: https://www2.ufjf.br/arquitetura/ensino/graduacao-2/organizacao/pesquisa-e-extensao/celula-bim-fauufjf/

12345

2

Implementação e Contratação BIM

ptBIM

12345

QUANTIFICAÇÃO BIM EM FASE DE PROJETO

Gonçalo Valente

ptBIM

QUANTIFICAÇÃO BIM EM FASE DE PROJETO

Gonçalo Valente[1]

(1) TRIM, Lisboa, Portugal

Resumo
O *BIM* (Building Information Modelling) possibilita a criação de um modelo digital integrado, no qual cada elemento contém informação (geométrica e não geométrica) que permite a quantificação automática durante a evolução do projeto. Contudo, as ferramentas BIM não vêm preparadas para essa resposta imediata. É necessário existir um template *BIM* para o projeto, com critérios estruturados de identificação e descrição de cada elemento *BIM*, por forma a permitir uma relação com o articulado e a respetiva quantificação. Só desta forma, com recurso a métodos de controlo de qualidade, podemos garantir coerência entre todos os elementos necessários para entregar ao cliente: modelo *BIM*, peças desenhadas e peças escritas.
Nesta apresentação, pretendemos mostrar um caso prático de desenvolvimento desta metodologia, que permite compatibilizar, em tempo real, o modelo *BIM*, as peças desenhadas e o mapa de quantidades e trabalhos. Desta forma, no decorrer do desenvolvimento do projeto, podemos testar soluções e controlar, de forma integrada, a informação visível nos diferentes entregáveis, pois é proveniente da mesma fonte.
A aplicação da metodologia *BIM* na quantificação em fase de projeto não apenas aprimora a qualidade e a precisão das estimativas, como também contribui para uma tomada de decisão mais informada e estratégica ao longo de todo o ciclo de vida do investimento.

1. Introdução

Uma das vantagens do *BIM* é a possibilidade de quantificar automaticamente os projetos em desenvolvimento. Contudo, as ferramentas de modelação *BIM* não vêm preparadas para essa resposta imediata. É necessário definir critérios estruturados, por forma a permitir uma relação com o articulado (mapa de trabalhos) e a respetiva quantificação.
Neste artigo, vamos apresentar um caso prático, aplicado numa ferramenta de modelação *BIM*, estruturado com base na organização da informação, assente na identificação e descrição de todos os elementos *BIM*. Com recurso a métodos de controlo de qualidade, podemos garantir coerência entre todos os elementos necessários para entregar ao cliente: modelo *BIM*, peças desenhadas e peças escritas.

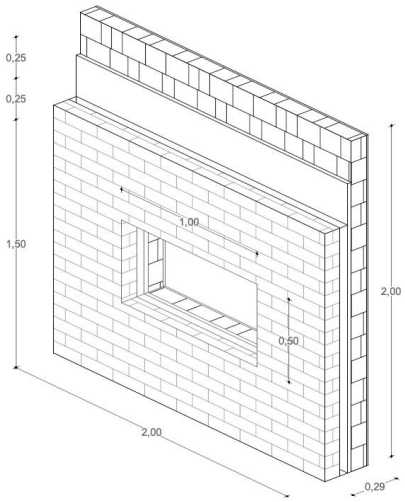
Para os exemplos contidos neste estudo, foi utilizada a ferramenta *BIM Archicad*, que pode conter terminologias diferentes de outras ferramentas *BIM*. O desenvolvimento deste estudo assegura uma metodologia que passa a estar incorporada no template *BIM*, de acordo com o documento "Archicad Template Creation" [1].

2. Quantificação BIM em fase de projeto

Projetar um edifício é um processo dinâmico, ditado pelas interações entre os seus intervenientes: cliente, projetistas, consultores e entidades municipais de avaliação do processo. No caso de estudo deste artigo, focamo-nos exclusivamente na quantificação *BIM* para projetos de arquitetura, podendo esta metodologia ser adaptada a outras especialidades.
O controlo da estimativa de custos durante o desenvolvimento do projeto em *BIM* torna-se cada vez mais importante. A possibilidade de definir, verificar e corrigir toda a informação do projeto de forma dinâmica, bem como obter quantidades para estimativa, tem-se tornado uma exigência crescente por parte dos clientes.
Para obter esse resultado, todos os elementos quantificáveis do projeto devem ter códigos de identificação, materiais de construção e acabamentos, bem como classificações e propriedades definidas. Contudo, existe ainda dificuldade em obter mapas de quantidades automatizados e articulados de forma dinâmica com o projeto em curso.
Neste artigo, vamos demonstrar que toda essa informação contida no projeto pode também estar refletida num mapa de quantidades e trabalhos extraído diretamente do modelo.
Projetos de várias escalas devem conter esta mesma estrutura de informação; por isso, o método aplica-se a qualquer projeto de arquitetura, podendo existir adaptações às nomenclaturas definidas no *BEP* (*BIM Execution Plan*).

3. Mapas

No *Archicad*, existem três tipos de mapas para extrair informação do modelo: mapas de elementos, de componentes e de superfícies, definidos pelos respetivos critérios e campos. Os critérios filtram os elementos através da sua informação, a incluir num mapa, nomeadamente parâmetros (por exemplo: geométricos, de posicionamento, material e superfície), classificações e propriedades. Após a definição dos critérios, ficam disponíveis os respetivos campos selecionados para visualização no mapa.
Na Figura 1, verificamos que os valores medidos pelos mapas provenientes do *BIM* equivalem aos valores obtidos manualmente.



Parede (CxLxA)	Componentes	Área (Bruta)	Área de Vãos	Área (Líquida)
2,00 x 0,29 x 2,00	Tijolo 11cm	3,00	0,50	2,50
	Isolamento - Plástico Duro	3,50	0,50	3,00
	Bloco de Betão - Estrutural	4,00	0,50	3,50
	Reboco Interior	4,00	0,50	3,50

Figura 1: Medição manual e medição por mapa.

3.1 Mapa de elementos

Num mapa de elementos, podemos extrair informação global de qualquer elemento ou subelemento 3D do modelo. Isto significa que conseguimos filtrar e combinar informação relativa à geometria, posicionamento, material, superfície, classificações e propriedades.

3.2 Mapa de componentes

Num mapa de componentes, para além da informação global de qualquer elemento 3D do modelo, podemos extrair informação específica dos seus componentes. Isto significa que conseguimos filtrar informação relativa à geometria (por exemplo, área ou espessura de cada camada), bem como ao material, classificações e propriedades específicas das diferentes camadas dentro do mesmo elemento.

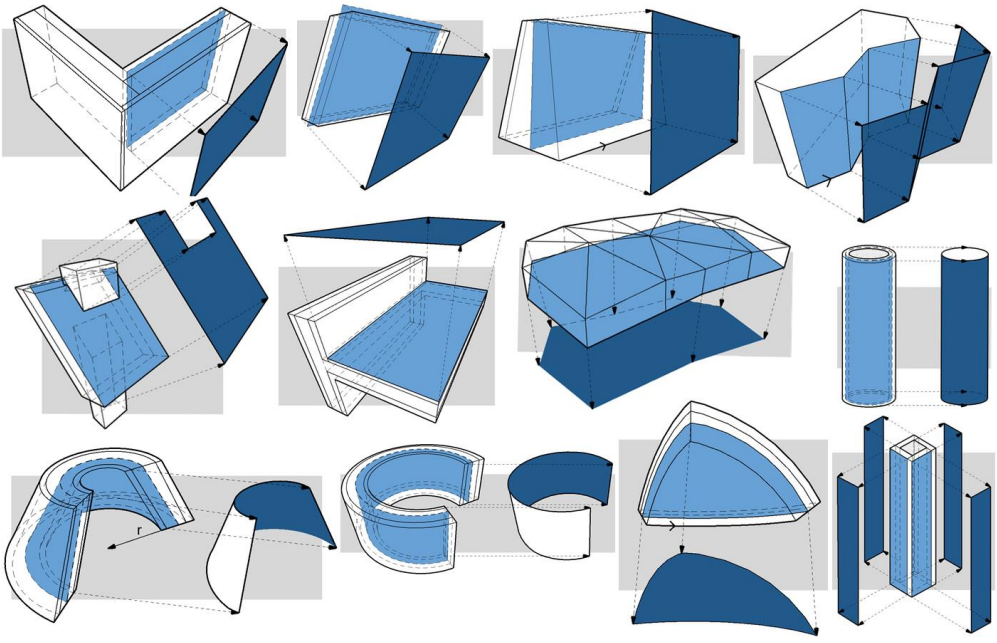


Figura 2: Planos de medição de áreas de componentes.

Na Figura 2, apresentam-se exemplos de planos de medição de áreas de componentes em geometrias de diferentes complexidades. No caso de geometria mais complexas recorremos à opção de modelação através de perfis complexos. Nesta ferramenta, de maior liberdade formal, em todos os elementos a medir deve ser ativada a opção "Listar Área de Componente", conforme indicado na Figura 3. Será ativada uma linha auxiliar que indica qual o plano a considerar para medição.

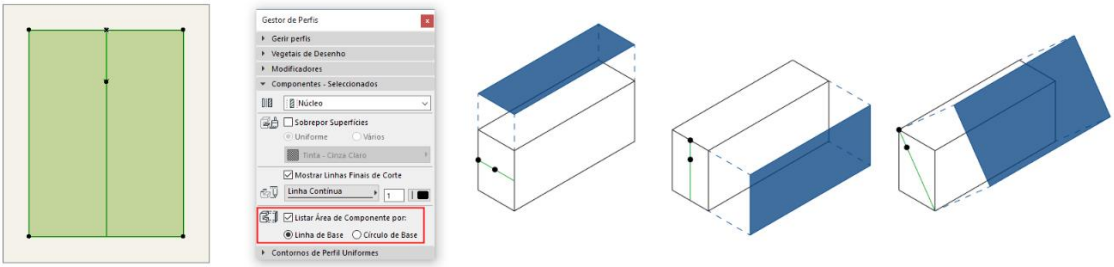


Figura 3: Medição de Área em Perfis Complexos.

3.3 Mapa de superfícies

Numa tabela de superfícies, o princípio é distinto. Pretende-se quantificar as áreas expostas dos elementos, de acordo com os critérios que definem o que é considerado uma área exposta de uma determinada superfície.

3.4 Mapa de quantidades e trabalhos

Tendo como objetivo a criação de um único mapa que contenha os artigos, optámos por criar este mapa como um mapa de elementos, que inclui elementos auxiliares provenientes dos outros dois mapas: componentes e superfícies. Desta forma, teremos todos os artigos organizados de forma sequencial e será possível exportar o mapa de quantidades e trabalhos para um único ficheiro de *folha de cálculo*.

4. Identificação e descrição de elementos e trabalhos a quantificar

Por forma a garantir qualidade de medição (*QA*), toda a informação base para a quantificação é estruturada a partir da definição de um código de identificação do elemento (*ID*) e do seu respetivo *descritivo*. No *template*, diferenciamos o método de definição de *ID* e *descritivo* dos elementos construtivos, como paredes, lajes e coberturas, dos restantes elementos, como escadas, guardas, vãos e objetos.
No primeiro caso, essa definição é feita através da estrutura de nomenclatura do elemento, dos materiais e das superfícies de acabamento. No segundo caso, é feita através de propriedades disponibilizadas de acordo com a classificação previamente definida.

5. Classificações e Propriedades

No *Archicad*, a estruturação de toda a informação BIM depende essencialmente da conjugação entre classificações e propriedades, que desempenham funções distintas.

5.1 Classificações

As classificações, como o nome indica, têm a função de classificar elementos ou componentes por duas razões: disponibilizar propriedades associadas à respetiva classificação e associá-los, no tradutor *IFC*, ao mapeamento do *Tipo IFC*, permitindo a respetiva classificação em *OpenBIM*. Estão disponíveis para importação diversos sistemas de classificação, nomeadamente *Uniclass 2015, RICS, MasterFormat, OmniClass e UniFormat*. Também é possível criar classificações com outros objetivos, nomeadamente estruturar o articulado de quantificação e associá-las a propriedades específicas de medição. Existe como referência o *WBS* (*Work Breakdown Structure*) desenvolvido pelo *BuildingSMART* Portugal [2].
No exemplo da Figura 4, apresenta-se uma estrutura de artigos semelhante a um mapa de quantidades de um projeto e as respetivas propriedades associadas. Cada subcapítulo (por exemplo: 04.1 – Paredes Exteriores (PRe)) indica o código de elemento que deve ser considerado. Ao atribuir essa classificação ao elemento, o número do artigo é definido pelo *ID* do elemento. Isto significa que, se forem criadas paredes exteriores PRe01 e PRe02, serão criados automaticamente os respetivos artigos 04.1.01 e 04.1.02.

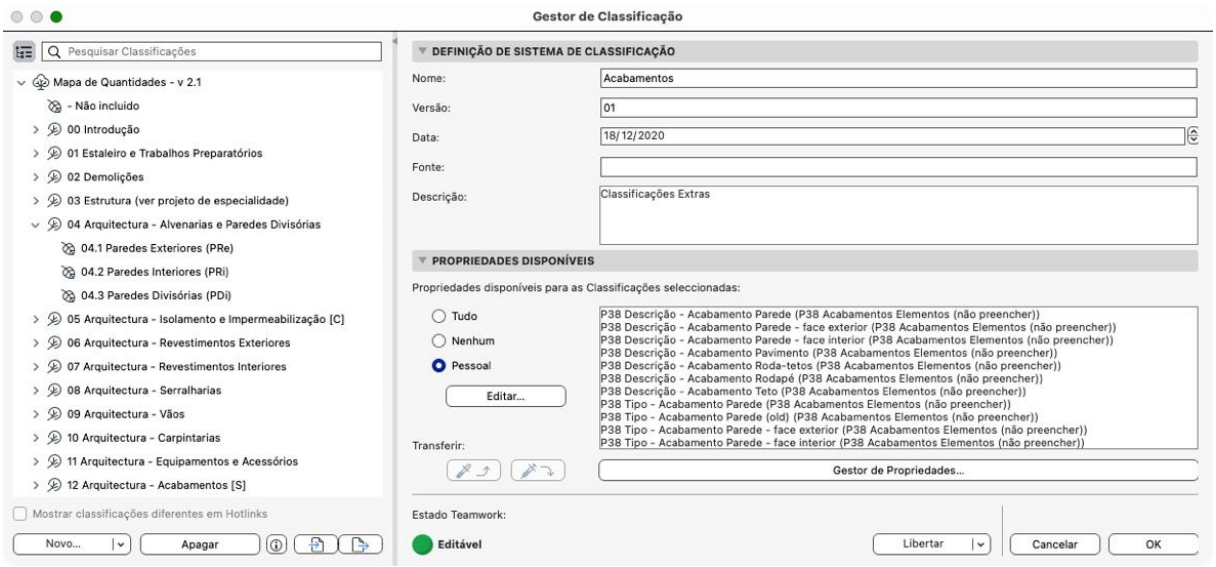


Figura 4: Classificação de mapa de quantidades.

Por outro lado, é essencial definir o que se pretende quantificar no mapa de trabalhos, de forma a classificar os elementos ou subelementos. Na Figura 5, verifica-se que, nas definições da ferramenta guarda, é possível classificar a guarda ou os seus subelementos, como corrimão,

barras, postes, balaústres ou painéis. Dependendo da forma como se estrutura o articulado, deve ser atribuída a respetiva classificação do mapa de quantidades.

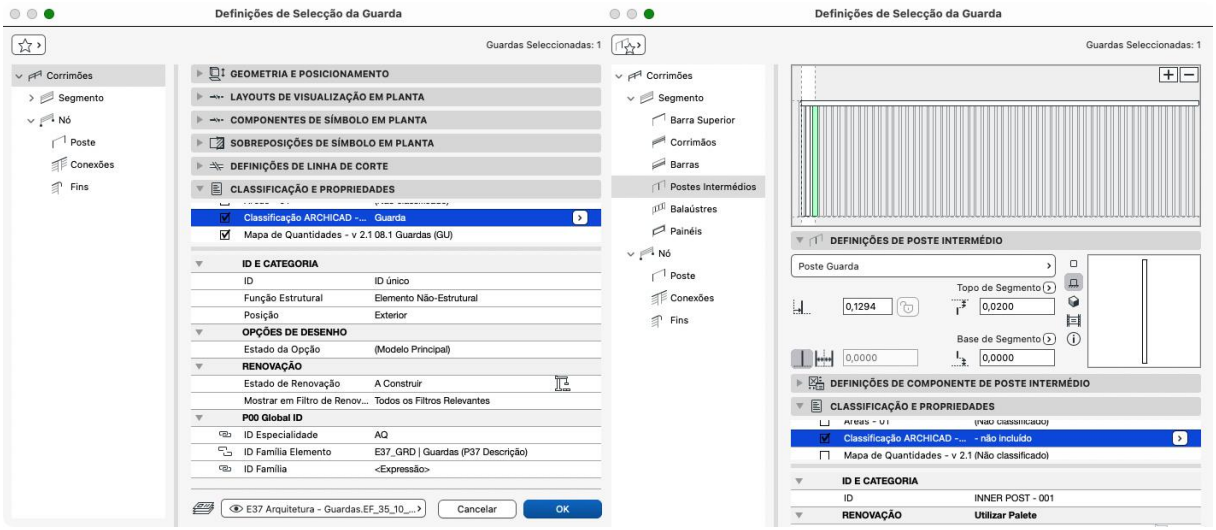


Figura 5: Classificação de elemento Guarda ou sub-elemento Poste.

5.2 Propriedades

As propriedades constituem o conjunto de informação que se pretende associar a elementos, subelementos ou componentes com classificação própria. Podem assumir três tipos de informação: texto ou número predefinido; informação de medição, como comprimento, área, volume ou ângulo; e informação booleana. Qualquer propriedade pode conter expressões, resultantes da conjugação de *inputs* provenientes de parâmetros, classificações, propriedades ou dados do projeto. A metodologia de quantificação adotada assenta precisamente no desenvolvimento destas propriedades com recurso a expressões.

Na Figura 6, é possível observar, no *Gestor de Propriedades*, as propriedades associadas à quantificação, incluindo o exemplo de uma propriedade de medição em m^2 com recurso a uma expressão.



Figura 6: Editor de expressões em propriedades.

Contudo, a medição de cada tipo de elemento pode recorrer a parâmetros específicos desse elemento, pelo que é necessário criar várias expressões, testadas em sequência para cada tipo de elemento, garantindo assim a correta medição para todos os elementos do projeto.
As propriedades com recurso a expressões podem ser bastante diversas. A Figura 7 ilustra outra aplicação de uma expressão numa propriedade utilizada na quantificação *BIM*. Neste exemplo, o resultado da propriedade Medição varia consoante a unidade de medição escolhida para o artigo: *m³* (volume do elemento), *m²* (área), *ml* (comprimento) ou *un* (unidade). Deste modo, obtém-se a propriedade Medição associada à unidade de medição.
Por outro lado, foi também criada uma propriedade adicional que multiplica a Medição pelo Preço Unitário, permitindo uma estimativa de custo durante a fase de desenvolvimento do projeto.

Mapa de Quantidades	Altura [m]	Espessura [m]	Medição	Unidade	Preço unitário	Preço	Classificação
04.6 Paredes Divisórias Gesso Cartonado							
	3,00	0,10	0,75	m3	25,00	18,75	Divisória de Gesso
	3,00	0,10	10,79	m2		269,69	Divisória de Gesso
	3,00	0,10	3,30	ml		82,45	Divisória de Gesso
			11,73			**293,30**	

m2 (✓) · m3 · ml · un

Figura 7: Exemplo de propriedade de medição.

5.3 Propriedade de mapa de trabalhos automática

No projeto de arquitetura, podem existir artigos, como no caso dos vãos, que correspondem a elementos com informação não geométrica, inserida numa sequência de propriedades associadas e refletida nas peças desenhadas de arquitetura, nomeadamente em mapas de vãos.

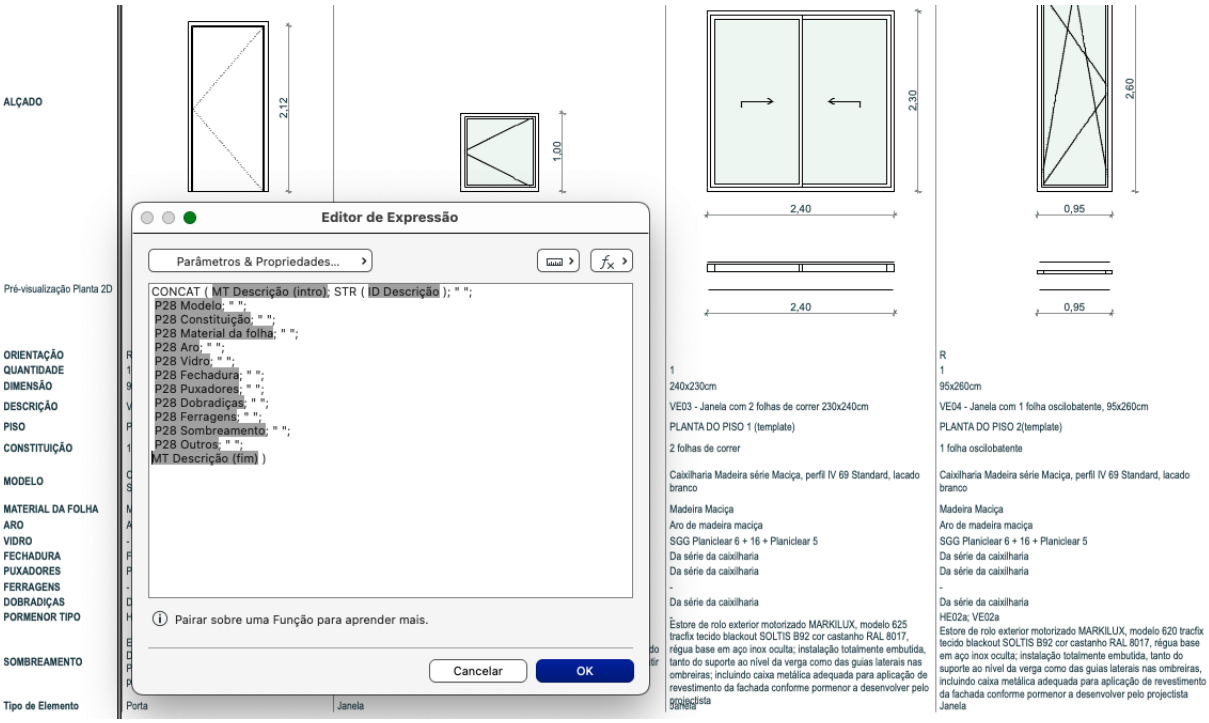


Figura 8: Exemplo de mapa de vãos.

Na Figura 8, apresenta-se um exemplo de mapa de vãos, composto por propriedades associadas aos elementos. Observa-se também, em sobreposição, o editor de expressões, no qual as mesmas propriedades associadas aos vãos são refletidas na propriedade do mapa de trabalhos, com recurso a uma expressão de concatenação de múltiplas propriedades.
Isto significa que, se qualquer propriedade do vão for alterada (por exemplo: puxador), essa alteração será refletida tanto no mapa de vãos como no mapa de trabalhos (Figura 9).

09 - Arquitetura - Vãos				
09.1 Vãos Exteriores (VE)			0,00	
09.1.01	VE01	Fornecimento e aplicação de: VE01 - Porta com 1 folha abrir, 90x210cm Caixilharia Madeira série Maciça, perfil IV 69 Standard, lacado branco 1 folha de abrir Madeira Maciça Aro de madeira maciça - Fechadura própria do sistema Puxador próprio do sistema Dobradiças próprias do sistema - Estore de rolo interior motorizado HUNTER DOUGLAS, modelo T80 RUNNY tecido screen PANORAMA PRO 3%, cor a definir em obra pelo projectista, régua base em aço inox oculta mod. L - Incluindo todos os materiais e trabalhos necessários ao seu perfeito funcionamento.	1,00	un
09.1.02	VE02	Fornecimento e aplicação de: VE02 - Janela com 1 folha oscilobatente, 106x100cm Caixilharia Madeira série Maciça, perfil IV 69 Standard, lacado branco 1 folha de abrir Madeira Maciça - SGG Planiclear 6 + 16 + Planiclear 5 - Da série da caixilharia - - Portadas interiores constituídas por guarnição e folha em madeira maciça pintada a tinta de esmalte sintético acetinado à cor branco RAL 9010, de acordo com desenho a executar em obra pelo projectista, incluindo 4 fechos de embutir FORMANI, ref. a definir em obra pelo projectista, acabamento SATIN GOLD. Prever verga amovível, com sistema de fixações ocultas, para acesso a rolo - Incluindo todos os materiais e trabalhos necessários ao seu perfeito funcionamento.	1,00	un
09.1.03	VE03	Fornecimento e aplicação de: VE03 - Janela com 2 folhas de correr 230x240cm Caixilharia Madeira série Maciça, perfil IV 69 Standard, lacado branco 2 folhas de correr Madeira Maciça Aro de madeira maciça SGG Planiclear 6 + 16 + Planiclear 5 Da série da caixilharia Da série da caixilharia Da série da caixilharia - Estore de rolo exterior motorizado MARKILUX, modelo 625 tracfix tecido blackout SOLTIS B92 cor castanho RAL 8017, régua base em aço inox oculta; instalação totalmente embutida, tanto do suporte ao nível da verga como das guias laterais nas ombreiras; incluindo caixa metálica adequada para aplicação de revestimento da fachada conforme pormenor a desenvolver pelo projectista - Incluindo todos os materiais e trabalhos necessários ao seu perfeito funcionamento.	1,00	un
09.1.04	VE04	Fornecimento e aplicação de: VE04 - Janela com 1 folha oscilobatente, 95x260cm Caixilharia Madeira série Maciça, perfil IV 69 Standard, lacado branco 1 folha oscilobatente Madeira Maciça Aro de madeira maciça SGG Planiclear 6 + 16 + Planiclear 5 Da série da caixilharia Da série da caixilharia Da série da caixilharia - Estore de rolo exterior motorizado MARKILUX, modelo 620 tracfix tecido blackout SOLTIS B92 cor castanho RAL 8017, régua base em aço inox oculta; instalação totalmente embutida, tanto do suporte ao nível da verga como das guias laterais nas ombreiras, incluindo caixa metálica adequada para aplicação de revestimento da fachada conforme pormenor a desenvolver pelo projectista - Incluindo todos os materiais e trabalhos necessários ao seu perfeito funcionamento.	1,00	un

Figura 9: Exemplo de quantificação de artigo.

6. Controlo Qualidade no modelo BIM

A garantia de uma correta quantificação BIM está diretamente associada à qualidade do modelo *BIM*. No template, foi criado um capítulo dedicado ao controlo de qualidade (*QC*) e à validação da qualidade da medição (*QA*). Este processo inclui a verificação de elementos duplicados e a validação de toda a informação (por exemplo: classificações e propriedades de elementos específicos do modelo), através de sobreposições gráficas dedicadas sobre o modelo *3D*, conforme representado na Figura 10.

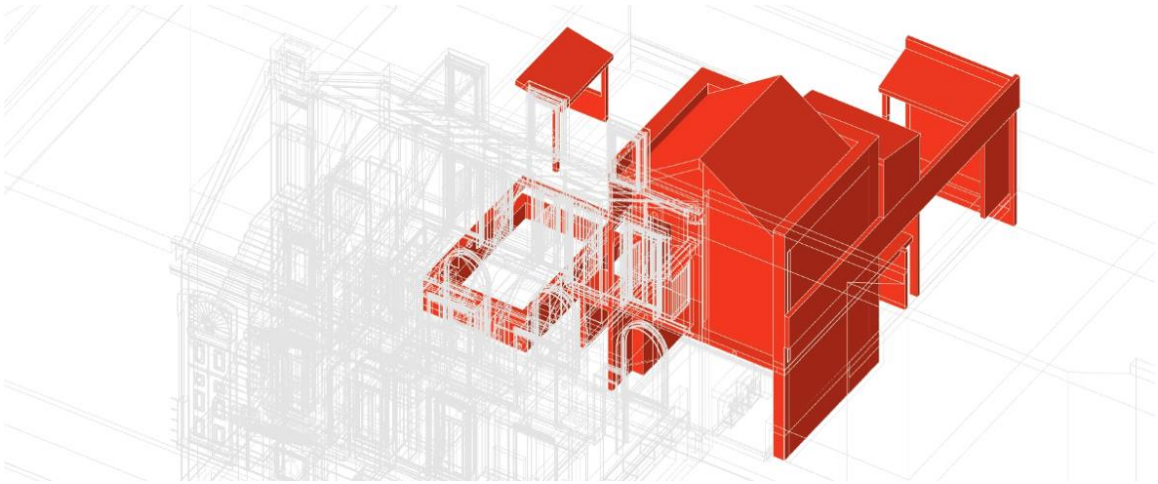


Figura 10: Sobreposição gráfica de elementos.

Por outro lado, o próprio *template* foi concebido para incluir, nas peças desenhadas (2D), sobreposições gráficas dedicadas por tipo de elemento (por exemplo: paredes, pavimentos, tetos, revestimentos, áreas impermeáveis, entre outros), que contribuem para a garantia e o controlo de qualidade das medições durante o desenvolvimento do projeto.
Por fim, é possível controlar e corrigir a informação diretamente no mapa, por este fazer parte do processo de trabalho interno no *Archicad*. Além disso, ao selecionar qualquer elemento no mapa, é possível visualizá-lo no modelo, o que facilita o processo de controlo de qualidade em qualquer fase do projeto.

7. OpenBIM

O tradutor de ficheiros *IFC* deve assegurar que a informação dos elementos *BIM*, nomeadamente o *ID* e o *descritivo*, esteja incorporada na exportação, por forma a ficar disponível em contexto *OpenBIM*. Desta forma, é possível abrir o modelo *BIM* em diferentes ferramentas de visualização ou edição *BIM*, como o *Revit* ou o *Tekla*.
Na Figura 11, apresenta-se um exemplo de visualização de um modelo *IFC* com recurso à ferramenta *Speckle*. Neste exemplo, estão destacados os revestimentos de um projeto, a respetiva quantificação e a percentagem relativa. Na parte inferior da mesma figura, é possível observar o identificação (*ID*) e a descrição do revestimento selecionado (*RVe01*), bem como a respetiva medição no modelo *BIM*.

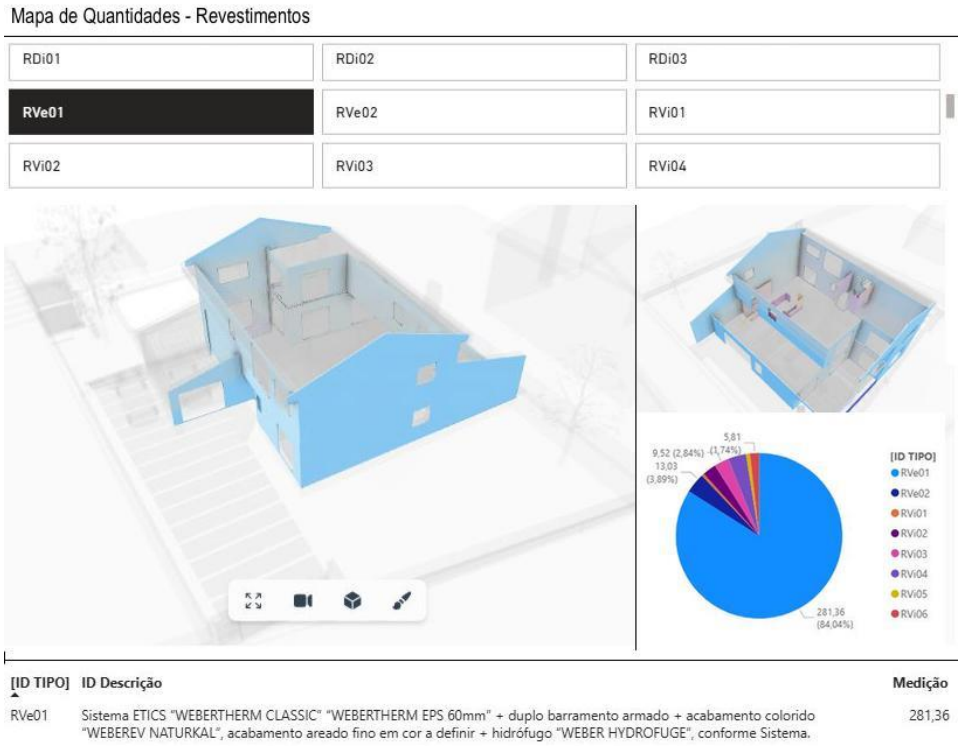


Figura 11: Visualização em *OPENBIM* de revestimentos num projeto.

8. Conclusões

A metodologia apresentada demonstra que a quantificação *BIM* em fase de projeto pode evoluir de um processo tradicionalmente manual e sujeito a inconsistências para um sistema integrado, dinâmico e altamente fiável. Através da estruturação rigorosa da informação — baseada na definição de *IDs*, *descritivos*, *classificações* e *propriedades* — torna-se possível estabelecer uma ligação direta entre o modelo BIM e o mapa de quantidades e trabalhos, garantindo coerência entre todos os entregáveis do projeto.

A utilização combinada de mapas de elementos, componentes e superfícies permite extrair diferentes níveis de informação, enquanto a centralização num único mapa de quantidades assegura organização, legibilidade e facilidade de exportação. O papel das propriedades, especialmente quando potenciadas por expressões, revela-se fundamental para automatizar medições, adaptar critérios de quantificação e até integrar estimativas de custo em tempo real, acompanhando a evolução do projeto.

Adicionalmente, a implementação de sistemas de classificação personalizados, alinhados com estruturas como o *WBS*, permite não só organizar o articulado de forma consistente, como também automatizar a geração de artigos, reduzindo erros e aumentando a eficiência. A possibilidade de refletir alterações de forma imediata entre modelo, mapas e peças desenhadas reforça o caráter integrado da metodologia.

O controlo de qualidade assume igualmente um papel central, sendo assegurado através de verificações sistemáticas no modelo e de sobreposições gráficas dedicadas, tanto em ambiente 3D como 2D. Este processo garante a fiabilidade da informação e a consistência das medições ao longo de todo o desenvolvimento do projeto.

Por fim, a interoperabilidade em ambiente *OpenBIM*, através da correta exportação em formato *IFC*, assegura a continuidade da informação entre diferentes plataformas e intervenientes. Em síntese, esta abordagem evidencia que, com uma estrutura de informação bem definida e integrada no *template BIM*, é possível alcançar uma quantificação automática, consistente e alinhada com as exigências atuais do setor da construção.

Referências

[1] GRAPHISOFT Customer Success Department, “Archicad Template Creation”, Budapeste, Hungria, 2020.

[2] BuildingSmart Portugal, WBS – Grupo de trabalho para concertação de uma listagem WBS, Lisbon, 2026

12345

COMPETÊNCIAS BIM RELEVANTES PARA CONTRATAÇÕES PÚBLICAS: ESTUDO DE CASO

Raíssa Cruz, Mônica Salgado

ptBIM

COMPETÊNCIAS BIM RELEVANTES PARA CONTRATAÇÕES PÚBLICAS: ESTUDO DE CASO

Raíssa Cruz [(1)], Mônica Salgado [(2)]

(1) Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, ID ORCID 0000-0002-0160-6325
(2) Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, ID ORCID 0000-0003-4098-8335

Resumo
A implementação do *Building Information Modelling* (BIM) no setor público brasileiro impõe desafios às equipes responsáveis pelo planejamento e pela fiscalização de obras de engenharia. Essas equipes são formadas, predominantemente, por servidores concursados, inseridos em organizações com limitada capacidade de transformação. Diante da exigência do uso do BIM nas obras públicas, estabelecida pela Lei nº 14.133/2021, torna-se imprescindível preparar esses profissionais conforme exigido pelo novo modelo de contratação. Nesse contexto, o presente artigo objetiva identificar as competências primárias e secundárias, conforme o referencial do *BIM Excellence*, a serem desenvolvidas junto ao corpo técnico das instituições públicas, visando o atendimento à demanda legal por contratações públicas em BIM. A metodologia adotada consiste em um estudo do caso baseado na análise da estrutura organizacional do escritório técnico da Universidade Federal do Rio de Janeiro, complementado por revisão bibliográfica e análise documental do arcabouço legal e normativo nacional. Os resultados evidenciam o predomínio de competências gerenciais, administrativas e funcionais, com destaque para a gestão da informação, de projetos e dos contratos, bem como para a fiscalização de modelos. Conclui-se que a consolidação do BIM no setor público depende do fortalecimento das equipes permanentes, capacitando-as como agentes de integração e controle da qualidade da informação.

1. Introdução

No Brasil, desde 2018, o Governo Federal tem promovido a adoção de BIM por meio da publicação de uma série de instrumentos legais. Destaca-se nesse contexto a publicação da Nova Lei de Licitações e Contratos [1] que, em seu art. 19, estabelece como preferencial a adoção da metodologia BIM em licitações de obras e serviços de engenharia e arquitetura, sempre que compatível com o objeto licitado. Importante ressaltar que a aplicação do termo

"preferencialmente" não concede liberdade à administração pública para optar pela não adoção de BIM, exigindo justificativa técnica fundamentada, caso a adoção não seja realizada.
Para subsidiar essa determinação legal, muitas associações nacionais compostas por instituições públicas e privadas trabalham conjuntamente para produção e divulgação de guias, normas, padronizações e melhores práticas. Ou seja, o país tem se movimentado no campo político para fornecer conhecimento a ser aplicado, considerando a estrutura prototípica dividida nos campos de política, processos e tecnologias. BIM incorpora muitos domínios de conhecimento da arquitetura, engenharia e construção e resulta da integração que esses domínios estabelecem entre si nos campos de políticas, processos e tecnologias [2].
O campo do processo envolve a participação de proprietários, operadores, projetistas, engenheiros e construtores responsáveis por integrar requisitos e entregáveis da construção, bem como estruturas organizacionais e comunicações operacionais, com o objetivo de gerar e manter modelos de construção [2]. A partir dessa definição, compreende-se que as instituições públicas e seus agentes, ao contratar modelos BIM para planejar, executar e/ou monitorar obras públicas, classificam-se como participantes do campo dos processos e, como tal, precisam ser capazes de atender às responsabilidades a eles inerentes.
No entanto, a capacitação profissional dos agentes envolvidos no processo BIM é apontada ainda como uma grande barreira para a sua adoção em obras públicas. A falta de conhecimento sobre a metodologia, resistência a mudanças, ausência da definição clara de responsabilidades, desconhecimento sobre gestão da informação e falta de colaboração interdisciplinar são problemas apontados por administradores públicos e proprietários de edificações [3] [4] [5].
Embora fortemente apoiada por tecnologias digitais, a adoção de BIM vai além da aquisição de *softwares*, da capacitação em suas funcionalidades e da modernização da infraestrutura de *hardware*. Ela demanda o aprimoramento das competências profissionais dos recursos humanos, englobando desde aspectos gerenciais, estratégicos e organizacionais, até transformações administrativas e operacionais nas rotinas institucionais [6].
Especificamente considerando a adoção pelo setor público na contratação de projetos e obras, torna-se pertinente identificar quais competências devem ser desenvolvidas a depender da função do servidor no organograma do setor. Daí a importância de analisar quais competências BIM os servidores públicos – na condição de contratantes e proprietários de edificações públicas – precisam desenvolver para garantir a qualidade e eficiência das contratações realizadas sob essa metodologia. Dessa forma, o presente artigo tem como objetivo apresentar as competências primárias e secundárias (conforme definições do *BIM Excellence* [7]) a serem desenvolvidas junto ao corpo técnico das instituições públicas, visando o atendimento à demanda legal por contratações públicas em BIM, com estudo de caso no escritório técnico da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

2. Referencial Teórico

Modelagem da Informação da Construção é definida como um processo que integra políticas, processos e tecnologias para gerenciar digitalmente os dados de projetos e construções ao longo do seu ciclo de vida. A implementação eficaz do BIM exige o alinhamento entre recursos tecnológicos, competências técnicas e gestão organizacional, que precisam evoluir ao longo das

experiências acumuladas. Essa evolução pode ser medida através de 5 métricas: capacidade, maturidade, competência, estratégia organizacional e granularidade [9].

2.1 Conceitos fundamentais na formação de competências

O avanço da capacidade e maturidade BIM estão diretamente relacionados com a granularidade das competências que os indivíduos, equipes e organizações alcançam ao longo do tempo nos aspectos de tecnologia, processos e políticas [8] [9].

Essas competências incluem conhecimento teórico, habilidades práticas e características pessoais que podem se manifestar em habilidades, atividades e/ou entregas mensuráveis realizadas por indivíduos, equipes e/ou organizações. Elas podem ser adquiridas por meio de educação formal, treinamento ou desenvolvimento profissional [2] [10]. Uma das abordagens propostas é aquela onde as competências são agrupadas em três níveis: essenciais, de domínio e de execução. Cada nível contém conjuntos e tópicos específicos, permitindo reconhecer que um indivíduo pode ter diferentes graus de domínio em distintas áreas [2].

No entanto, apesar da relevância do desenvolvimento de competências para a percepção do nível de maturidade organizacional, os estudos, estruturas e diretrizes existentes focam predominantemente em características de nível organizacional, de projeto ou da indústria, mas poucas abordagens têm o foco no desenvolvimento de competências [11].

Os estudos sobre adoção de BIM que adotam uma abordagem de competências aplicam predominantemente uma estrutura em competências primárias classificadas como gerenciais, administrativas, funcionais, operacionais, técnicas, de implementação, de suporte e de pesquisa e desenvolvimento, que possuem 64 competências secundárias a elas relacionadas [7].

A utilização essa referência como base metodológica para analisar o desenvolvimento de competências BIM na indústria de construção civil de Quebec, permitiu perceber que arquitetos se destacam no desenvolvimento de competências gerenciais e de implementação, enquanto engenheiros se concentram em competências administrativas, de suporte e de pesquisa e desenvolvimento. Além disso, como competência relevante tem destaque o conhecimento e aplicação de práticas e padrões de gestão da informação recomendadas pela ISO 19650-1 [11].

A importância de aperfeiçoar o conhecimento sobre as recomendações da ISO 19650 ganha destaque em estudos realizados sobre a implementação de BIM na Romênia, onde profissionais envolvidos em contratações públicas precisam alinhar os regulamentos nacionais às recomendações da norma para garantir suporte à entrega de projetos digitais[3].

A bibliografia converge à relevância da ISO 19650 ao afirmar que equipes envolvidas na contratação e gestão de edificações públicas devem desenvolver um conjunto integrado de competências para contratações em BIM. Essas competências incluem a definição de requisitos e nível de informação necessários, o desenvolvimento de Planos de Execução BIM (BEP – BIM *Execution Plan*), bem como definição de critérios para seleção e habilitação de propostas e fornecedores [3] [12] [13]. O BEP é estabelecido pelos membros da equipe do projeto e deve definir as características, informações e usos do modelo BIM, bem como estratégias de atualização, as responsabilidades de cada membro da equipe, as tecnologias adotadas, o nível de informação e detalhamento, as normas, e o processo de troca de informações [14].

Além disso, destaca-se a necessidade de capacitação para controle da qualidade dos modelos BIM contratados, garantindo sua aderência às exigências por meio de conhecimentos em gestão de projetos, processos integrados, supervisão digital, auditoria de modelos, interoperabilidade

e gerenciamento do Ambiente Comum de Dados (Common Data Environment - CDE) [15] [16][17].

2.2 Profissionais envolvidos no processo de contratações públicas

A literatura evidencia a necessidade de se aprofundar as competências BIM de diferentes atores envolvidos no processo de contratação, com destaque para os contratantes e gestores públicos. Nesse cenário, referências como a taxonomia de competências [7] e as recomendações da ISO 19650-1 [18] mostram-se fundamentais para estruturar a formação profissional e assegurar a qualidade de processos e entregas BIM.

Levantamento realizado no Escritório Técnico da Universidade Federal do Rio de Janeiro revelou a estrutura básica representada na Figura 1. A mancha amarela indica os setores predominantes que estão diretamente envolvidos no processo de contratação de projetos e obras de arquitetura e engenharia. Esses setores envolvem desde a Direção do órgão até os arquitetos e engenheiros que compõem as equipes dos escritórios de planejamento.

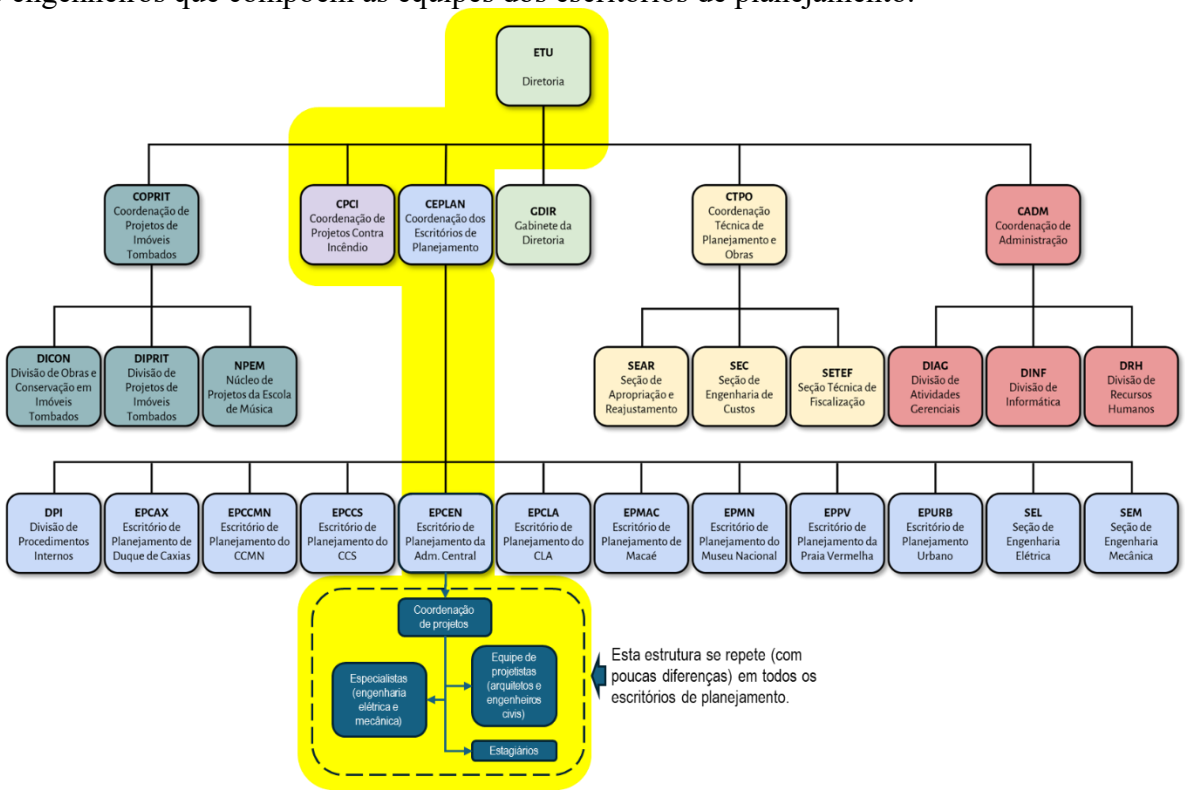


Figura 1: Setores do Escritório Técnico da Universidade diretamente envolvidos no processo de contratação.

Conforme observado na Figura 1, a contratação depende da demanda do escritório de planejamento correspondente, mas todas envolvem os setores indicados em amarelo, quais sejam:

- Direção do Escritório Universitário;
- Coordenação dos Escritórios de Planejamento;
- Chefia dos Escritórios de Planejamento responsável pela demanda; e
- Profissionais que compõem as Equipes dos Escritórios de Planejamento.

Embora não seja possível generalizar este organograma para todas as instituições públicas, a partir da sua análise, pode-se identificar os cargos e funções envolvidas no processo licitatório, quais sejam:

1. cargo de direção: representa a liderança do órgão perante a instituição;
2. cargos de coordenação organizacional: responsáveis pela condução dos recursos e processos da organização no âmbito do planejamento estratégico institucional. Estão diretamente subordinadas à direção;
3. cargos de coordenação de projeto: coordenam os escritórios de planejamento que conduzem os projetos a serem definidos como objetos das contratações;
4. cargos de projetistas de arquitetura e engenharia: profissionais especialistas em arquitetura e engenharia que desenvolvem projetos de edificações conforme as exigências mínimas do modelo de contratação adotado para o projeto;
5. cargos de consultoria técnica especializada: exercidos pelas demais coordenações, divisões e seções que compõem o organograma do Escritório Técnico. Prestam consultoria aos escritórios de planejamento, apoiando em demandas de maior complexidade técnica.

Dessa formam torna-se necessário identificar quais competências devem ser desenvolvidas entre os profissionais que assumem estas funções para que seja possível explorar as potencialidades oferecidas pela contratação de projetos em BIM.

Cabe acrescentar que o processo de contratação de profissionais para instituições públicas é feito através de concurso. Pesquisa realizada nos editais permitiu identificar as competências exigidas dos candidatos, quais sejam:

- para os arquitetos: são exigidas competências para elaboração de planos e projetos de arquitetura em todas as suas etapas, contemplando definições de materiais de acabamento, técnicas e metodologias construtivas, bem como análise de dados e informações; elaboração de estudos de viabilidade financeira, econômica e ambiental; fiscalização de obras e serviços;
- para os engenheiros: são exigidas competências para elaboração de projetos de engenharia, execução de obras, coordenação da operação e manutenção de edificações, planejar e orçar a contratação de empreendimentos e controle da qualidade da execução dos mesmos.

Observa-se que não há indicação explícita de conhecimento sobre o BIM, tampouco de competências para elaboração de um BEP, o que revela que os processos seletivos ainda não estão adequados à nova realidade imposta pela Lei de Licitações e Contratos.

Cabe acrescentar que além das competências técnicas – foco desta pesquisa – os candidatos devem demonstrar conhecimento sobre o trabalho como servidores públicos, englobando noções de administração pública e conhecimentos gerais.

Dessa forma, evidencia-se a importância de:

1. reconhecer o impacto que o trabalho no ambiente BIM exerce na gestão do processo de projeto;
2. identificar as competências BIM específicas a serem exigidas/cumpridas pelos servidores em cargos-chave no processo de contratação de projetos e obras em BIM;
3. Elaborar programas de capacitação evolutiva que permita aos profissionais já contratados a migração para o trabalho no ambiente BIM.

3. Metodologia

Para atender ao objetivo do artigo, a metodologia de pesquisa partiu de uma revisão bibliográfica sobre o tema desenvolvimento de competências BIM. Para isso, foi realizada uma pesquisa nas bases Scopus e Web of Science sobre competência BIM relevantes. Buscou-se por artigos e textos em eventos publicados em inglês, entre os anos de 2021 a 2025, nas áreas de engenharia, ciências sociais, negócios, gerenciamento e ciências de decisão. Os strings de busca foram: "building information modelling" OR "building information model" OR "building information management" OR BIM AND "public contract" OR "public procurement" OR "public bidding".
Os resultados levaram ao resultado inicial de 21 artigos. Após a leitura integral dos mesmos, 12 foram selecionados para compor a correlação pretendida nesta pesquisa. O critério para seleção dos artigos considerou as competências relevantes às equipes envolvidas nas contratações públicas de projetos e obras.
Na segunda e última etapa, apresenta-se o cruzamento entre as competências levantadas na revisão bibliográfica e os cargos e funções envolvidos no processo de licitação do caso estudado.

4. Resultados

Serão apresentados resultados da pesquisa para cada uma das etapas descritas na metodologia, e depois associados os resultados às categorias de profissionais diretamente envolvidos no processo de contratação pública de projetos em BIM considerando o referencial teórico apresentado anteriormente.

4.1 Levantamento Bibliográfico

A partir da leitura dos artigos selecionados, foi possível observar que competências de gestão são consideradas fundamentais em todos os artigos analisados com destaque para a gestão da informação. Destaca-se a relevância de conhecimentos sobre definição de requisitos de informação. Para essa definição são associados conhecimentos sobre usos BIM e o nível de informação necessário, aos quais estão relacionados os objetivos do projeto, a partir de uma compreensão de todo o ciclo de vida da edificação [12] [16].
À gestão do processo e do projeto, pode-se associar competências relacionadas à necessidade de se definir claramente papéis e responsabilidades, verificar e validar modelos contratados, bem como exercer a coordenação e colaboração de projetos através de um ambiente comum de dados (Common Data Environment – CDE) que preferencialmente deve estar sob a guarda do agente público contratante, e não de desenvolvedoras de software. Além disso, ao concentrar e permiti rastrear facilmente o processo de projeto, a utilização de um CDE contribui para melhorar a gestão de documentos e a comunicação entre os membros da equipe, bem como na gestão das informações ao servir como base de dados para lições aprendidas [3] [7] [11].
A verificação e validação de modelos BIM merece destaque, pois envolve conhecimentos sobre IFC (Industry Foundation Classes) de forma a viabilizar a auditoria dos modelos entregues pelos contratados e consequentemente fiscalização da execução.
Para a gestão de contratos, torna-se fundamental a capacidade de estabelecer critérios objetivos que possibilitem a avaliação qualitativas de propostas e fornecedores.

A elaboração do Plano de Execução BIM (BIM Execution Plan – BEP) será responsabilidade do contratado. No entanto, é desejável que o contratante apresente os elementos que precisam constar no BEP, orientando os interessados na realização do projeto quanto à elaboração do documento.

4.2 Cruzamento de competências versus funções

O resultado deste artigo traz uma correlação entre as funções institucionais levantadas no estudo de caso com as competências BIM recomendadas pela bibliografia para equipes de contratantes públicos. A Tabela 1 apresenta o resultado.

Tabela 1: Cruzamento entre cargos públicos e competências BIM

Cargo identificado no organograma	**Competências BIM a serem desenvolvidas (BIM Excellence Initiative)**
Direção do Escritório Universitário	• Definir e comunicar objetivos organizacionais • Liderar organizações • Identificar e desenvolver objetivos estratégicos
Coordenação dos Escritórios de Planejamento	• Identificar as mudanças organizacionais necessárias • Desenvolver iniciativas e políticas gerenciais • Avaliar e monitorar a competência organizacional • Planejar, desenvolver e gerenciar recursos humano • Identificar e gerenciar problemas relacionados à implementação
Chefia dos Escritórios de Planejamento	• Desenvolver as especificações e os documentos necessários para pré-qualificar, recomendar ou adquirir produtos e serviços BIM. • Administrar a documentação contratual • Gerenciar riscos do projeto • Gerenciar e controlar a qualidade de modelos e documento • Gerenciar a colaboração e comunicação entre os participantes do projeto. • Utilizar sistemas de gestão documental
Profissionais que compõem as equipes dos Escritórios de Planejamento	• Identificar os requisitos básicos e os principais resultados esperados • Conhecimento sobre o sistema de classificação da informação • Capacidade de fiscalizar e auditar os modelos • Capacidade de fiscalizar a realização da obra comparando a conformidade da mesma com o modelo apresentado pelo contratado e identificando se está de acordo com o que foi estabelecido pela contratante. • Geração de relatórios técnicos com informações sobre o resultado da inspeção de modelos, verificando sua conformidade com o BEP do projeto. • Acompanhar a atualização do BEP.

Através da correlação apresentada na Tabela 1, é possível perceber que os cargos levantados desempenham funções gerenciais e técnicas. As funções gerenciais competem aos cargos de direção, coordenação e chefia dos escritórios de planejamento. O cargo de direção é correlacionado com competências BIM gerenciais voltadas ao exercício de liderança necessário para definir os objetivos e metas da adoção de BIM, e para traçar o planejamento estratégico para alcançá-los. Recomenda-se que o desenvolvimento dessas competências se baseie em conhecimentos sólidos sobre BIM e Lei de Licitações e Contratos, a fim de relacioná-los em seus limites e potencialidades. A compreensão da ISO 19650-1 é fundamental para orientar a definição dos requisitos de informação da organização (OIR) que dão embasamento ao processo de tomada de decisão.

Para o cargo de coordenação dos escritórios de planejamento, as competências administrativas relacionadas ao planejamento e gestão da adoção de BIM se somam a competências gerenciais relacionadas às mudanças culturais necessárias para que ela aconteça. Em complemento, destacam-se competências de implementação voltadas à condução, monitoramento e controle desta adoção. A coordenação organizacional também precisa adquirir um conhecimento conceitual de BIM e da legislação para gerir processos, mudanças, recursos humanos e conhecimentos relevantes para a adoção de BIM, através de uma liderança forte.

No entanto, para o processo de contratação em BIM, destaca-se o cargo de chefia dos escritórios de planejamento que atua como um coordenador de projetos. As competências BIM relevantes para ele são predominantemente funcionais e administrativas. Essa correlação justifica-se pelas atribuições do cargo em gerenciar colaborativamente as partes interessadas.

Os profissionais que atuam nas equipes dos escritórios de planejamento exercem funções técnicas. As competências BIM a eles relacionadas são predominantemente técnicas e operacionais, voltadas à verificação e validação de modelos BIM através da operação correta de ferramentas que lhes deem suporte. O desenvolvimento dessas competências precisa estar amparado em conhecimentos sobre definição de usos BIM, requisitos de informação, nível de informação necessária, padronização e interoperabilidade, com destaque no Brasil para a NBR 15965 [19] que estabelece um Sistema de Classificação da Informação da Construção em projetos BIM. Além disso, destaca-se a capacidade de fiscalizar a qualidade de modelos BIM, com destaque para a definição de critérios de análise, verificação automática de regras, detecção de conflitos e visualização de modelos. Considerando a demanda por auditar os modelos apresentados pelos contratados, as equipes envolvidas devem minimamente dominar as ferramentas BIM que permitem o exercício desta função.

Cabe acrescentar que este artigo propõe a definição das competências considerando a contratação em BIM, e não o desenvolvimento de projetos em BIM. Ou seja, embora a competência secundária de modelagem seja desejável para a realização de projetos no ambiente BIM, a urgência para a função de contratantes públicos está em gerenciar contratos e realizar auditorias e inspeção nos modelos, de forma a identificar se estão de acordo com os padrões estabelecidos pela norma brasileira e pelos requisitos da contratação. Quanto às competências de suporte e investigação, embora não sejam prioritárias ao contexto da contratação, devem ser incentivadas para fins do aprimoramento do processo licitatório, contribuindo para a melhoria da gestão pública.

5. Conclusões

Este artigo contribuiu para evidenciar que as competências a serem desenvolvidas variam conforme a função exercida no organograma institucional. Cargos de direção, coordenação e chefia demandam predominantemente competências gerenciais, administrativas e funcionais, associadas à definição de objetivos estratégicos, gestão de mudanças organizacionais, estruturação de processos e gestão de contratos em BIM. Já os profissionais que atuam diretamente nas equipes técnicas necessitam desenvolver competências técnicas e operacionais, voltadas à definição de requisitos, padronização e verificação de modelos BIM.
A análise também revelou lacunas entre as exigências legais e normativas relacionadas ao BIM e os requisitos atualmente previstos nos processos seletivos para ingresso no serviço público, o que reforça a necessidade de capacitação continuada e de atualização dos perfis profissionais demandados pelas instituições. Além disso, destaca-se o papel estratégico da ISO 19650-1 como referência fundamental para orientar o processo de contratação.
Conclui-se, portanto, que a consolidação do BIM no setor público brasileiro depende do fortalecimento das equipes técnicas internas, capacitando-as para atuar como agentes de integração, coordenação e controle da qualidade da informação ao longo do ciclo de vida das edificações públicas.

Agradecimentos

As autoras agradecem ao CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – pelo apoio à pesquisa (Bolsa de Produtividade e Edital Universal).

Referências

[1] BRASIL**.** *Lei nº 14.133, de 1º de abril de 2021. Estabelece normas gerais de licitação e contratação para as administrações públicas e dá outras providências.* Diário Oficial da União: Brasília, 1 abr. 2021. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2021/lei/L14133.htm. Acesso em: 19 jan. 2026**.**

[2] B. Succar, W. Sher, G. Aranda-Mena, and T. Williams, “A proposed framework to investigate Building Information Modelling through knowledge elicitation and visual models,” in *Proceedings of the Australasian Universities Building Education Association (AUBEA 2007)*, Melbourne, Australia, 2007, pp. 308-325.

[3] A. Crisan, C. Vlăduț, C. Andrei, E. Dogariu, A. Fenyo, and C. Onofrei, “Advancing BIM implementation in Romania: Legal context and industry readiness for public construction projects,” *International Journal for Housing Science and Its Applications*, vol. 46, no. 2, pp. 85–93, June 2025. doi: 10.70517/ijhsa46208.

[4] A. Kiaulakis, T. Vilutienė, and V. Šarka, “Public authorities’ attitude and perception regarding use of BIM for information management,” in *Proceedings of The 13th International Multi-Conference on Society, Cybernetics and Informatics (IMSCI 2019)*, Orlando, Florida, EUA, 2019, pp. 41–46.

[5] S. N. S. Yusoff, J. Brahim, R. Mohd Nordin, and C. Preece, “Assessing Building Information Modelling (BIM) maturity level in Design and Build public projects: Case studies of public projects in Malaysia,” in *Proc. Int. J. Sustainable Construction*

Engineering and Technology, vol. 14, no. 5, pp. 241–251, Oct. 2023. doi: 10.30880/ijscet.2023.14.05.019.

[6] B. Succar, W. Sher, and A. Williams, "An integrated approach to BIM competency assessment, acquisition and application," *Automation in Construction*, vol. 35, pp. 174–189, Nov. 2013. doi: 10.1016/j.autcon.2013.05.016.

[7] BIMe Initiative (2025), '201in BIM Competency Table', https://bimexcellence.org/resources/200series/201in/. First published 15 September 2025. Viewed 25 January 2026.

[8] B. Succar, "The Five Components of BIM Performance Measurement," in *Proc. CIB World Congress*, Salford, United Kingdom, May 2010. doi: 10.13140/2.1.3357.1521.

[9] B. Succar, W. Sher, and A. Williams, "Measuring BIM performance: Five metrics," *Architectural Engineering and Design Management*, vol. 8, no. 2, pp. 120–142, Mar. 2012. doi: 10.1080/17452007.2012.659506.

[10] B. Succar and W. Sher, "A competency knowledge-base for BIM learning," in *Proc. Australasian Journal of Construction Economics and Building Conference Series*, vol. 2, no. 2, Auckland, New Zealand, Apr. 2014, pp. 1-10, Australasian Journal of Construction Economics and Building Conference Series. doi: 10.5130/ajceb-cs.v2i2.3883.

[11] E. A. Poirier, A. Pavard, and N. de Paula, "Determining factors influencing BIM adoption: A competency-driven approach," *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 150, no. 8, Aug. 2024. doi: 10.1061/JCEMD4.COENG-14527.

[12] U. Gurevich and R. Sacks, "Longitudinal Study of BIM Adoption by Public Construction Clients," *Journal of Management in Engineering*, vol. 36, no. 4, art. no. 05020008, May 2020. doi: 10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000797.

[13] K.-J. Park and J.-H. Ock, "Structuring a BIM service scoping, tendering, executing, and wrapping-up (STEW) guide for public owners," *Applied Sciences*, vol. 12, no. 7, art. 3275, Mar. 2022. doi: 10.3390/app12073275.

[14] C. M. Eastman, P. Teicholz, R. Sacks, and K. Liston, *Manual de BIM: um guia de modelagem da informação da construção para arquitetos, engenheiros, gerentes, construtores e incorporadores*. 3rd ed. Porto Alegre: Bookman, 2021.

[15] B. C. Matos, C. O. Cruz, and F. A. Branco, "Building information modeling in construction projects: the case of the Portuguese code of public contracts," *Journal of Public Procurement*, vol. 25, no. 1, pp. 1-40, 2025. doi: 10.1108/JOPP-02-2024-0022.

[16] A. Pérez-García, N. Martín-Dorta, and J. A. Aranda, "An exploratory study of the data quality of BIM models for Spanish public procurement," in *Proc. 2024 IEEE 20th International Conference on Automation Science and Engineering (CASE)*, Bari, Italy, 2024, pp. 502-507. doi: 10.1109/CASE59546.2024.10711470.

[17] M. Juszczyk, M. Vaišnoras, R. Kontrimovičius, T. Hanák, H. Łukaszewska, and L. Ustinovichius, "Quality and reliability of IFC/BIM models for public educational facilities construction projects via clash detection," *Journal of Civil Engineering and Management*, vol. 31, no. 1, pp. 1-19, Jan. 2025. doi: 10.3846/jcem.2025.23114.

[18] ISO 19650-1:2018. *Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) — Information management using building information modelling — Part 1: Concepts and principles.* International Organization for Standardization, 2018.

[19] ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15965: Sistema de classificação da informação da construção. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

12345

A IMPLEMENTAÇÃO DO BIM NOS PROCESSOS DA GESTÃO DE PROJETOS NA CONSTRUÇÃO: UM ESTUDO BIBLIOMÉTRICO

Margarida Ferreira, Olga Pereira, Mário Coelho

ptBIM

A IMPLEMENTAÇÃO DO BIM NOS PROCESSOS DA GESTÃO DE PROJETOS NA CONSTRUÇÃO: UM ESTUDO BIBLIOMÉTRICO

Margarida Ferreira [(1)], Olga Pereira [(2)], Mário Coelho [(3)]

(1) Escola Superior de Tecnologia e Gestão, Felgueiras
(2) Escola Superior de Tecnologia e Gestão, Felgueiras, 0000-0002-1428-4927
(3) CCG/ZGDV Institute, Guimarães, 0000-0002-6356-6963

Resumo
A Modelação da Informação da Construção (BIM) tem-se revelado uma metodologia que surgiu para revolucionar o setor da construção no seu todo, tendo a sua implementação ganhado destaque ao longo dos últimos anos. São inúmeras as vantagens que lhe estão associadas, mas existem também algumas barreiras, nomeadamente ao nível dos custos iniciais avultados e da formação necessária.
O presente trabalho foca-se no estudo da implementação do BIM nos processos centrais de gestão de projetos (GP) na construção, na ótica do gestor de projetos. Partindo do mapeamento dos principais processos de GP na construção, através da metodologia proposta pelo Project Management Institute e da identificação de como estes são afetados pela aplicação da metodologia BIM, pretende-se identificar formas de quantificar os custos e os benefícios associados.
Almeja-se que, no futuro, esta informação seja a base para o desenvolvimento de uma *framework* operacional, que proporcione apoio na transição e adoção do BIM, reduzindo custos de mudança e acelerando resultados mensuráveis para as organizações.
Neste trabalho é desenvolvida uma análise bibliométrica, recorrendo a bases de dados científicas indexadas. Espera-se como contributo uma análise e identificação dos processos de GP na construção mencionados na literatura e como o BIM veio impactar.

1. Introdução

A indústria da construção caracteriza-se por elevados níveis de complexidade, incerteza e mudança, enfrentando desafios persistentes principalmente ao nível dos custos, prazos e coordenação de todos os intervenientes. A GP foi adotada por este setor com vista à resolução dos problemas descritos, mas apresenta limitações, necessitando de mecanismos eficientes que prestem maior auxílio ao longo de todo o ciclo de vida do projeto [1], [2], [3], [4], [5], [6].
O BIM é descrito como um conceito multifacetado que dá suporte à gestão e tomada de decisão nos projetos, centrando e estruturando a informação dos mesmos, promovendo a coordenação

entre equipas e a partilha de informação em tempo real, resultando numa intervenção mais precoce, na redução de retrabalho e melhor articulação entre as fases [1], [4], [7], [8]. No entanto, enfrenta limitações que condicionam a concretização plena dos seus benefícios, sendo também um fator de influência o custo associado aos fatores estruturais e a incerteza relativa ao seu valor e eficácia na prática, tendo levado à falta de aderência, que impulsionou um interesse em estudos sobre esta questão [3], [4].

O principal objetivo desta investigação é identificar os processos de GP na construção e perceber como o BIM veio mudar esta área. Para alcançar este objetivo, prevê-se o cumprimento dos seguintes objetivos específicos: O1. Realização de uma revisão da literatura, de forma a analisar o estado da arte relativamente aos BIM e sua integração na GP na construção, lacunas; O2. Mapeamento dos principais processos da GP na construção identificados na extensão do Project Management Body of Knowledge (PMBOK) para a construção; O3. Identificação de tendências de investigação, temas dominantes e lacunas da produção científica selecionada, através do desenvolvimento de um estudo bibliométrico.

O presente artigo está estruturado em 5 secções, consistindo a primeira na introdução, seguida da análise de literatura na segunda, na terceira secção é apresentada a metodologia utilizada, na quarta apresentados e discutidos resultados da análise bibliométrica e na quinta detalhadas as principais conclusões da pesquisa.

Espera-se que os resultados deste estudo contribuam para uma melhor compreensão do estado da arte e constituam uma base para a investigação futura.

2. Revisão da literatura

2.1 A Gestão de Projetos e a sua aplicação na construção

A GP é descrita por alguns autores na literatura como a atividade de gestão que integra o planeamento, organização e controlo de um projeto ao longo de todas as fases do seu ciclo de vida, tendo em vista assegurar o cumprimento dos requisitos e objetivos do mesmo [2], [7], [9]. Face ao aumento progressivo da diversidade e complexidade dos projetos no setor da construção, bem como a frequência das alterações que caracterizam o seu desenvolvimento, a GP passou a ser amplamente adotada nesta indústria. Esta adoção surgiu como resposta à necessidade de obter metodologias capazes de lidar com contextos marcados pela incerteza, mudança e coordenação entre os vários intervenientes, exigindo flexibilidade e especialização ao nível da gestão [1], [2], [3].

Tradicionalmente, o desempenho de um projeto é medido tendo em conta o cumprimento dos objetivos de tempo, custo e qualidade, sendo o planeamento e controlo destes parâmetros considerados determinantes para o sucesso do mesmo [3], [6], [10], [11].

Alguns autores acreditam também que os desafios do setor são agravados pela falta de comunicação e passagem de informação entre os intervenientes, dificultando a colaboração entre eles [2].

2.2. Processos de Gestão de Projetos na construção

O planeamento tradicional na construção, baseado em métodos como o caminho crítico e gráfico de barras, apresenta limitações significativas ao nível da visualização e do suporte à gestão eficaz de projetos [13]. Esta limitação é agravada pela natureza fragmentada da indústria da construção, que dificulta a gestão da informação e a colaboração entre os diferentes intervenientes [1], [4],

[7], [14], [15]. Adicionalmente, a variabilidade dos ciclos de vida dos projetos, associada às exigências de financiamento, aquisição e mitigação de riscos, reforça a necessidade de mecanismos robustos de monitorização, controlo e gestão de alterações [3], [5], [6].

Grupos/Áreas de Processos	**Processos identificados**
Gestão da Integração do Projeto	- Realização do project charter - Desenvolvimento do plano de gestão do projeto: - Administração da construção (funções exercidas transversalmente pelas entidades envolvidas)
Gestão do Âmbito do Projeto	- Definição do âmbito - Criação da Work Breakdown Structure (WBS) - Monitorização e controlo do âmbito
Gestão do Cronograma do Projeto	- WBS - Plano de gestão do cronograma (atividades e sua duração, recursos alocados a cada atividade, cronograma, plano de gestão da curva de progresso) - Monitorização e controlo do cronograma
Gestão de Custos do Projeto	- Estimativa de custos - Orçamento de custos - Plano de gestão de custos - Monitorização e controlo de custos
Gestão da Qualidade do Projeto	- Definir requisitos - Plano de gestão da qualidade - Auditorias de qualidade - Controlo da qualidade
Gestão de Recursos do Projeto	- Plano da gestão de recursos (mão-de-obra, equipamentos, materiais) - Mobilização e contratação da equipa - Gestão de stocks
Gestão das Comunicações do Projeto	- Plano de gestão de comunicações - Avaliação da documentação do projeto - Relatórios diários - Gestão de conflitos - Gestão de reuniões - Relatórios de desempenho e progresso
Gestão de Riscos do Projeto	- Plano de gestão de riscos (planeamento, identificação, análise quantitativa e qualitativa, planeamento de resposta) - Controlo da gestão de riscos
Gestão de Aquisições do Projeto	- Planeamento da gestão das aquisições - Qualificação de fornecedores e solicitação de propostas - Avaliação e seleção de vendedores - Monitorização e controlo da gestão da aquisição - Lista de pendências - Encerramento administrativo
Gestão das Partes Interessadas do Projeto	- Identificar e monitorizar todas as partes interessadas - Gestão do envolvimento das partes interessadas - Monitorização e controlo do envolvimento das partes interessadas
Gestão de Saúde, Segurança e Meio Ambiente do Projeto	- Plano de gestão de Gestão de Saúde, Segurança e Meio Ambiente (HSSE) - Divisão e sinalização das zonas - Plano de gestão de tráfego - Plano de resposta a emergências - Plano de gestão de autorizações de trabalho - Plano de gestão de resíduos - Plano de gestão de segurança e ambiente - Auditorias de segurança e ambiente - Investigação de acidentes
Gestão financeira do projeto	- Planeamento da gestão financeira (determina como o projeto será financiado) - Adquirir e gerir os recursos financeiros - Monitorização e controlo da gestão financeira

Figura 1 - Mapa Síntese dos Processos de GP na Construção com Base na Extensão da Construção do PMBOK. Fonte: Elaboração Própria, Adaptado da Extensão PMBOK

O Project Management Body of Knowledge (PMBOK) consiste num guia de boas práticas, fornecendo uma base geral para a GP [16]. A extensão de construção do PMBOK é um guia que estabelece princípios e práticas especificas aplicáveis e direcionadas para projetos de construção. Nesse sentido, os profissionais de GP que atuam no setor da construção são

encorajados a utilizar ambos os documentos de forma integrada no exercício das suas funções. Esta extensão introduz áreas de conhecimento adicionais e especificas como a Gestão de Saúde, Segurança, Proteção e Meio Ambiente (HSSE) e a Gestão Financeira do Projeto [17]. Apesar de o PMBOK apresentar versões mais recentes, as extensões deste não são atualizadas com a mesma frequência. Em particular, a extensão para a construção analisada é a mais recente especifica do PMBOK.
Segundo o PMI, a GP divide-se nos seguintes domínios "gestão da integração, âmbito, cronograma, qualidade, recursos, comunicações, riscos, aquisições e *stakeholders*" [18]. A Figura 1 foi desenvolvida tendo por base a Extensão da Construção do PMBOK. Esta constitui uma síntese dos processos de GP aplicáveis ao contexto da construção, refletindo as especificidades introduzidas nesta extensão.
O BIM é mencionado apenas uma vez na extensão da construção do PMBOK, sendo enquadrado pelo PMI como um sistema de processos baseado em informações que contribui para a criação de valor a longo prazo, promovendo ainda a inovação e melhorando a forma como os projetos são planeados, executados e geridos [17].

2.3. O BIM e o seu impacto na Gestão de Projetos na construção

2.3.1. Enquadramento Conceptual

A GP baseada em BIM, surge da integração do BIM na GP [1], [18]. A literatura apresenta o BIM como um conceito multifacetado, entendido como tecnologia, processo e abordagem baseada em modelos digitais, que suporta a gestão cooperativa dos projetos e a tomada de decisão ao longo de todo o ciclo de vida da construção [3], [7], [9], [14].
Enquanto plataforma digital integrada, o BIM centraliza e estrutura a informação do projeto, promovendo a coordenação e colaboração entre equipas e a partilha de informação em tempo real, o que permite uma intervenção mais precoce, uma melhor articulação entre as fases de planeamento, construção, operação e manutenção, bem como melhorias na qualidade, eficiência e coordenação dos projetos, contribuindo para a redução dos custos, prazos, erros e retrabalho [3], [7], [8].
O BIM 3D é geralmente referido como a representação geométrica e visual dos elementos da construção. A dimensão 4D, é usualmente associada à componente temporal, ligando as atividades representadas em cronogramas com os modelos 3D, de forma a analisar progresso em tempo real e comparar com o estimado. O BIM 5D integra os dados relativos aos custos, como é o caso das quantidades, cronogramas e preço, permitindo a geração instantânea de orçamentos e representações financeiras do modelo no tempo [3], [19]. Na literatura são ainda mencionadas as dimensões 6D e 7D e, de forma menos frequente, também a 8D e 9D, não existindo no entanto consenso sobre cada uma, mas estando geralmente relacionadas com a sustentabilidade, gestão operacional e das instalações, segurança e energia.[3], [19], [20].
No contexto europeu, a adoção do BIM apresenta uma elevada heterogeneidade, sendo que países como a Finlândia, Dinamarca, Países Baixos e Reino Unido são considerados como os primeiros países europeus que implementaram a utilização desta ferramenta. Em comparação, Alemanha, Itália e Portugal integram o grupo de países que adotaram o BIM de forma tardia. Por fim, países como a Grécia e Malta estão na categoria dos adotantes muito tardios [8], [14], [21], [22]. Segundo [22], 35% dos países europeus já implementaram ou pretendem implementar o BIM, destacando a sua importância para o setor [22].

2.3.2. Vantagens e Desafios

Com a evolução e desenvolvimento da indústria da construção, novos desafios vão surgindo na GP ao nível da qualidade, eficiência e sustentabilidade. O BIM demonstra um grande potencial para transformar a GP tradicional, através da introdução de soluções digitais que melhoram a colaboração ao longo do ciclo de vida do projeto [3].

A literatura aponta para um consenso entre os profissionais da construção, quanto à necessidade de tornar o BIM um requisito obrigatório, devido ao seu impacto positivo na colaboração e na redução de conflitos [3].

Soluções baseadas exclusivamente em modelos BIM, sem integração com sistemas de acompanhamento em tempo real ou ferramentas de gestão dinâmica, apresentam limitações na representação da variabilidade inerente aos processos construtivos, o que compromete a sua capacidade de refletir com precisão as condições reais de execução em obra [13].

Por outro lado, a implementação do BIM enfrenta limitações de natureza tecnológica, organizacional e cultural, que condicionam a plena concretização dos seus benefícios na GP de construção. A superação destes constrangimentos exige abordagens integradas que promovam a capacitação, inovação e alinhamento institucional, sendo igualmente determinante a cooperação entre os diferentes intervenientes do setor para potenciar a adoção e contributo do BIM para práticas mais eficientes e sustentáveis [3].

Apesar do seu reconhecido potencial, a adoção do BIM na indústria da construção teve uma adesão inferior ao esperado, devido à incerteza quanto ao seu valor e eficácia na prática, o que impulsionou um interesse em estudos sobre esta questão [4].

Em Portugal, destacam-se barreiras críticas à implementação do BIM, de natureza predominantemente cultural e setorial, organizacional e processual. As barreiras tecnológicas não foram consideradas críticas e os custos, embora relevantes, revelaram-se fortemente influenciados por outros fatores estruturais. A superação destas barreiras exige uma abordagem apoiada por políticas públicas que promovam o investimento no setor, nomeadamente ao nível da inovação, capacitação profissional e cooperação entre os intervenientes [8], [21].

3. Metodologia de Investigação

No presente artigo, foi realizado um estudo bibliométrico da literatura, que através de indicadores bibliométricos permite avaliar a evolução e estrutura da produção científica no presente domínio em estudo.

Até ao momento, o estudo recorre exclusivamente à utilização de dados secundários, provenientes de literatura científica previamente publicada, não contemplando a recolha de dados primários. Foi utilizada exclusivamente a base de dados da Web of Science, tendo esta sido selecionada devido ao seu rigor na indexação e qualidade científica das publicações. Inicialmente foi realizada uma pesquisa exploratória, que permitiu um contacto inicial com a temática e as diferentes abordagens da mesma, possibilitando a definição de um conjunto de pontos estruturantes para a investigação. Foram identificadas a partir dessa pesquisa, as seguintes palavras-chave: "*project management*"; "*construction*"; "BIM". A partir das palavras-chave identificadas foram apontadas áreas relevantes associadas ao tema e definidas as *queries* apresentadas na Figura 2.

Área	Query
1 - Gestão de Projetos na Construção	(TS=("Construction Project Management" OR "Management of construction projects" OR "Construction Project Coordination") AND TS=("evolution" OR "transformation"))
2 - Processos de Gestão na Construção	(TS= ("Construction Project Management" OR "Management of construction projects" OR "Construction Project Coordination") AND TS=("management processes" OR "management activities" OR "management practices"))
3 – O BIM e a Gestão de Projetos	(TS=("project management") AND TS=("Building Information Modeling" OR "Building Information Modelling" OR "BIM") AND TS=("construction project" OR "construction projects" OR "construction process") AND TS=("implementation" OR "adoption" OR "transition" OR "evolution" OR "maturity")
4 – BIM em Portugal	(TS=("Building Information Modeling" OR "Building Information Modelling" OR "BIM") AND TS=("Portugal" OR "Portuguese")) AND TS=("Project Management" OR "management of projects" OR "Project Coordination" OR "management")
5 - Transição das metodologias tradicionais para o BIM	(TS= ("Project Management" OR "construction management" OR "project processes" OR "management processes") AND TS=("Building Information Modeling" OR "Building Information Modelling" OR "BIM") AND TS= ("Traditional method*" OR "conventional method*")

Figura 2 - Queries utilizadas para a pesquisa. Fonte: Elaboração Própria

Aos resultados obtidos foram aplicados os seguintes critérios:
C1 → Tipo de documento: article e review article;
C2 → Intervalo temporal: 2010 a 2025;
C3 → Categorias científicas relacionadas com a GP e a indústria de construção;
C4 → Avaliação de relevância do abstract pontuado numa escala de Likert de 5 pontos, ser igual ou superior a 3.
Após a aplicação de todos os critérios mencionados obteve-se uma amostra final de 120 artigos, que foram utilizados na realização do estudo bibliométrico. O estudo bibliométrico foi realizado com recurso ao pacote Bibliometrix do software R, com a interface gráfica Biblioshiny.

4. Resultados e Discussão

A análise das informações principais permite caracterizar de forma global o conjunto de documentos. Tendo em conta os critérios aplicados e anteriormente mencionados, foram obtidos um total de 120 documentos, publicados em 55 fontes distintas, o que revela uma dispersão considerável da produção científica por diferentes revistas, indicando que o tema é abordado em múltiplos domínios científicos.
No que respeita à autoria, observa-se que foram identificados 424 autores, sendo o valor médio de coautores por documento de 3,67 e a percentagem de coautoria internacional de 30,83%, o que evidencia um grau significativo de colaboração entre investigadores de diferentes países, indicando que o tema possui relevância global.
Apesar de o critério aplicado considerar publicações desde 2010, este conjunto de artigos apresenta um período temporal compreendido entre 2013 e 2025, com uma idade média dos documentos de 2,76 anos e taxa decrescimento anual de 23,29%, verificando-se um aumento significativo do volume de publicações após 2022. Estes dados sugerem que este é um tema que ganhou relevância nos últimos anos e está em expansão.
Ao nível mundial dos países que mais têm contribuído para a produção científica, destaca-se em particular a presença da China, que assume um papel central no desenvolvimento da pesquisa, seguida sequencialmente pelo Vietnam, Reino Unido, Estados Unidos da América, Austrália e Portugal, sendo que os países que revelam uma maior rede de cooperação científica internacional são a China e Reino Unido e China e Estados Unidos.

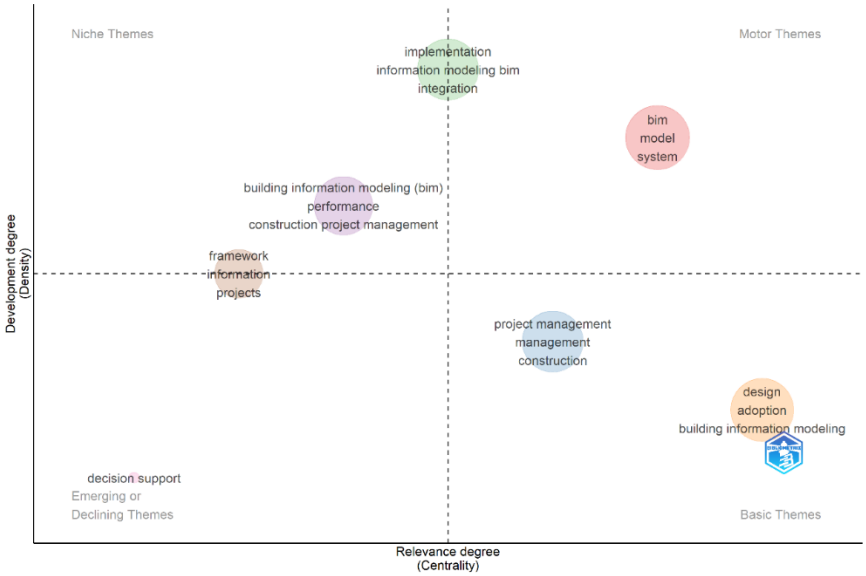


Figura 3 - Mapa Temático. Fonte: Bibliometrix

A análise do mapa (Figura 3) permite identificar que o termo "decision support" se posiciona entre os temas emergentes ou em declínio, indicando uma área ainda pouco consolidada ou com perda de relevância. O grupo “framework; informations; projects” encontra-se numa zona de transição entre os temas emergentes ou em declínio e os temas de nicho, sugerindo um domínio de centralidade reduzida, com nível de desenvolvimento intermédio. O cluster "BIM; performance; construction project management" surge classificado como tema de nicho, refletindo uma linha de investigação especializada, com um elevado potencial de desenvolvimento. Como temas básicos identificam-se "project management; management; construction" e "design; adoption; building information modeling", constituindo estes domínios pilares da investigação com necessidade de desenvolvimento. O único tema claramente considerado motor é "BIM; model; system", com elevado grau de centralidade e desenvolvimento, desempenhando um papel estruturante na literatura.
A Figura 4 reflete a rede de coocorrência, estando esta organizada em quatro grupos de clusters, que representam as principais áreas de investigação e as suas inter-relações.
O termo BIM destaca-se como conceito central e estruturante da literatura analisada, funcionando como principal eixo de articulação entre diferentes áreas da investigação, ligando-se de forma consistente a conceitos "construction", "project management" e "implementation". Esta ligação reforça a abordagem dominante do BIM enquanto ferramenta de suporte à GP na construção. O cluster central, representado a vermelho, assume um papel estruturante na rede, estando fortemente associado ao BIM enquanto conceito nuclear. O cluster azul encontra-se relacionado com a adoção do BIM no contexto construtivo e com a sua aplicação na gestão da construção, mantendo uma forte ligação e proximidade do cluster central. O cluster verde está orientado a parte da implementação e integração do BIM na GP e indústria da construção. Por fim, o cluster roxo relaciona o BIM com a GP, com foco nos aspetos associados a desafios e planeamento.

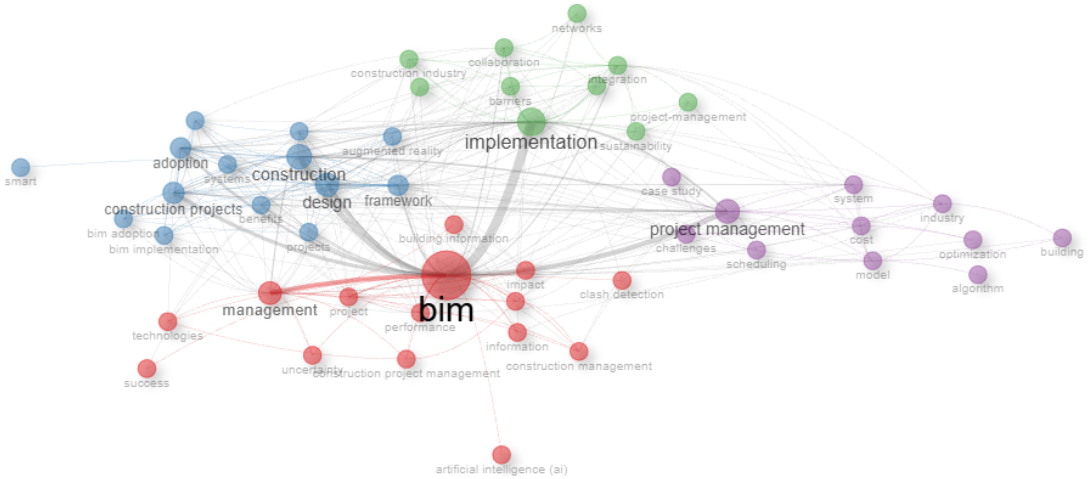


Figura 4 - Rede de Coocorrência. Fonte: Bibliometrix

A elevada densidade entre os nós, aliada à ausência de clusters periféricos claramente desconectados revela um campo de investigação fortemente interligado, no qual os conceitos raramente aparecem de forma isolada, observando-se ainda que a literatura analisada privilegia análises integradas a segmentadas.

5. Conclusões

A revisão de literatura permitiu identificar o BIM como uma metodologia com elevado potencial para apoiar a GP ao longo do ciclo de vida da construção, promovendo maior eficiência na coordenação, desempenho e tomada de decisão, melhorando a qualidade e reduzindo custos, prazos, erros e retrabalho. Contudo, foram também identificadas barreiras e desafios à sua adoção. No contexto português, verifica-se que, apesar de Portugal se enquadrar entre os países europeus que adotou o BIM de forma tardia, é ao nível mundial, o sexto país que mais contribuiu para a publicação científica da temática analisada.
Através da análise da extensão da construção do PMBOK, foi possível detetar que o BIM é mencionado apenas uma vez, não sendo muito abordado.
A análise bibliométrica confirmou o papel central do BIM na literatura, fortemente associado à GP, revelando um campo de investigação coeso e interligado, no qual predominam análises integradas. Foi também possível confirmar que a integração do BIM na GP constitui um domínio de investigação recente e em expansão, existindo ainda uma dispersão considerável da produção científica por diferentes revistas e sem liderança autoral fortemente consolidada.
A literatura analisada não apresenta uma definição clara dos processos específicos da GP na construção, abordando este domínio por norma de forma mais geral, através de grupos ou áreas de processos. Apesar da proximidade conceptual entre o BIM e a GP, os resultados da análise bibliométrica indicam que esta relação é frequentemente abordada de forma genérica, observando-se que "processos" é um termo que não tem destaque ao longo da mesma. Esta limitação e lacuna evidencia oportunidades relevantes para aprofundar o conhecimento científico neste domínio.

Em síntese, os objetivos definidos foram alcançados, tendo sido identificados os principais processos através da análise da extensão do PMBOK e que a literatura aborda e analisada a forma como o BIM é abordado pela literatura no contexto da GP.
Como principais limitações destaca-se o recurso exclusivo a uma única base de dados científica, reconhecendo que a inclusão de outras bases poderá enriquecer análises futuras, a falta de especificidade e detalhe da literatura analisada face aos processos identificados. Sendo de 2016, identificou-se que a extensão da construção do PMBOK se encontra já desatualizada e um pouco confusa.
Neste contexto, a análise bibliométrica é uma fase inicial do processo de pesquisa que funciona como alicerce para direcionar e guiar as próximas etapas desta investigação, ambicionando que esta informação seja futuramente a base para o desenvolvimento de uma *framework* operacional, que apoie a transição e adoção do BIM.

Referências

[1] X. Ma, F. Xiong, T. O. Olawumi, D. Na, and A. P. C. Chan, "A conceptual framework and roadmap approach for integrating BIM into life-cycle project management," Journal of Management in Engineering, 2018.
[2] A. Marinho, J. Couto, and J. Teixeira, "Relational contracting and its combination with the bim methodology in mitigating asymmetric information problems in construction projects," Journal of Civil Engineering and Management, vol. 27, no. 4, pp. 217–229, Apr. 2021, doi: 10.3846/jcem.2021.14742.
[3] T. Van Tran, H. Van Vu Tran, and T. A. Nguyen, "A Review of Challenges and Opportunities in BIM Adoption for Construction Project Management," Aug. 31, 2024, Chulalongkorn University, Faculty of Fine and Applied Arts. doi: 10.4186/ej.2024.28.8.79.
[4] Q. He, G. Wang, L. Luo, Q. Shi, J. Xie, and X. Meng, "Mapping the managerial areas of Building Information Modeling (BIM) using scientometric analysis," International Journal of Project Management, vol. 35, no. 4, pp. 670–685, May 2017, doi: 10.1016/j.ijproman.2016.08.001.
[5] K. M. Alfawaz and F. M. Aljedani, "Construction of Project Management Using Information System," Communications in Mathematics and Applications, vol. 13, no. 2, pp. 823–833, Aug. 2022, doi: 10.26713/cma.v13i2.2036.
[6] H. Sun, T. J. Khoo, M. Esa, A. Mahdiyar, and J. Li, "Critical Factors Driving Construction Project Performance in Integrated 5D Building Information Modeling," Sep. 01, 2024, Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). doi: 10.3390/buildings14092807.
[7] Y. Jiao and P. Cao, "Research on Optimization of Project Design Management Process Based on BIM," Buildings, vol. 13, no. 9, Sep. 2023, doi: 10.3390/buildings13092139.
[8] M. P. Lourenço, A. Arantes, and A. A. Costa, "Barriers to Building Information Modeling (BIM) Implementation in Late-Adopting EU Countries: The Case of Portugal," Buildings, vol. 15, no. 10, May 2025, doi: 10.3390/buildings15101651.
[9] J. Larsson and L. Larsson, "Integration, application and importance of collaboration in sustainable project management," Sustainability (Switzerland), vol. 12, no. 2, Jan. 2020, doi: 10.3390/su12020585.
[10] H. Aladag, I. Güven, and O. Balli, "Contribution of artificial intelligence (AI) to construction project management processes: State of the art with scoping review method,"

Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences, vol. 42, no. 5, pp. 1654–1669, Oct. 2024, doi: 10.14744/sigma.2024.00125.

[11] D. Kutá and M. Faltejsek, "The Role of Artificial Intelligence in the Transformation of the BIM Environment: Current State and Future Trends," Sep. 01, 2025, Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). doi: 10.3390/app15189956.

[12] J. Kivilä, M. Martinsuo, and L. Vuorinen, "Sustainable project management through project control in infrastructure projects," International Journal of Project Management, vol. 35, no. 6, pp. 1167–1183, Aug. 2017, doi: 10.1016/j.ijproman.2017.02.009.

[13] M. Tavakolan and S. Nikoukar, "A BIM and simulation-based finance scheduling method for the steel structure construction project," KSCE Journal of Civil Engineering, vol. 29, no. 5, May 2025, doi: 10.1016/j.kscej.2024.100124.

[14] A. Rezahoseini, E. Ahmadi, P. Saremi, and M. BagherPour, "Implementation of Building Information Modeling (BIM) Using Hybrid Z-DEMATEL-ISM Approach," Advances in Civil Engineering, vol. 2021, 2021, doi: 10.1155/2021/6686761.

[15] T. O. Olawumi and D. W. M. Chan, "Building information modelling and project information management framework for construction projects," Journal of Civil Engineering and Management, vol. 25, no. 1, pp. 53–75, 2018, doi: 10.3846/jcem.2019.7841.

[16] A. Simonaitis, M. Daukšys, and J. Mockienė, "A Comparison of the Project Management Methodologies PRINCE2 and PMBOK in Managing Repetitive Construction Projects," Buildings, vol. 13, no. 7, Jul. 2023, doi: 10.3390/buildings13071796.

[17] PMI, "Construction extension to the PMBOK guide," in PMBOK guide, Project Management Institute, Inc., 2016.

[18] PMI, "A Guide to the Project management body of knowledge," in PMBOK guide, Sixth Edition., Project Management Institute, 2017.

[19] P. Smith, "BIM & the 5D Project Cost Manager," Procedia Soc. Behav. Sci., vol. 119, pp. 475–484, Mar. 2014, doi: 10.1016/j.sbspro.2014.03.053.

[20] Z. Wang and J. Liu, "A Seven-Dimensional Building Information Model for the Improvement of Construction Efficiency," Advances in Civil Engineering, vol. 2020, 2020, doi: 10.1155/2020/8842475.

[21] R. Charef, S. Emmitt, H. Alaka, and F. Fouchal, "Building Information Modelling adoption in the European Union: An overview," Journal of Building Engineering, vol. 25, Sep. 2019, doi: 10.1016/j.jobe.2019.100777.

[22] E. Mitera-Kiełbasa and K. Zima, "BIM Policy Trends in Europe: Insights from a Multi-Stage Analysis," Applied Sciences (Switzerland), vol. 14, no. 11, Jun. 2024, doi: 10.3390/app14114363.

12345

O VALOR DO BIM PARA O DONO DE OBRA

Aline Hilgemberg, Filipe Lima, Sébastien Roux, Miguel Azenha

ptBIM

O VALOR DO BIM PARA O DONO DE OBRA

Aline Hilgemberg[(1)], Filipe Lima [(2)], Sébastien Roux [(2)], Miguel Azenha [(3)]

(1) Limsen Consulting, Lisboa, ORCID 0009-0007-5413-6615
(2) Limsen Consulting, Lisboa
(3) Universidade do Minho, Guimarães, ISISE, ORCID 0000-0003-1374-9427

Resumo

A indústria de Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC) enfrenta desafios crónicos de ineficiência, falta de colaboração e baixa digitalização. Embora BIM seja um impulsionador da transformação digital, sua adoção generalizada tem sido lenta, parcialmente devido à falta de evidência de valor para os donos de obra no setor privado. Este estudo visa contribuir com evidências dos benefícios e do retorno do investimento do BIM sob a perspetiva do cliente.
Utilizando uma abordagem híbrida num estudo de caso português de grande escala (Operação Integrada de Entrecampos), este artigo combina a análise qualitativa de entrevistas com *stakeholders* do projeto e outros donos de obra, e uma análise quantitativa de potenciais economias e custos associados à implementação BIM no projeto.
Os resultados qualitativos reiteram que o BIM é crucial na redução de riscos e custos e tem potencial para agregar valor na venda do ativo. Os principais benefícios percebidos incluem a melhoria da qualidade da informação e da coordenação, permitindo tomadas de decisão mais assertivas e a antecipação de problemas. A análise quantitativa revelou que o custo total de implementação do BIM (gestão, contratação e CDE) correspondeu a pelo menos 3,5% do custo total da construção. Em contraste, as economias mínimas viabilizadas pelo BIM, principalmente através da deteção antecipada de conflitos e do controlo de desvios na medição, totalizaram ao menos 10,6% do custo total da construção. Trata-se, portanto, de um retorno de quase três vezes o investimento para o dono de obra privado.

1. Introdução

A indústria da Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC), marcada pela complexidade, singularidade, e ineficiência em processos e modelos de contratação, exige mudanças profundas nos processos e cultura organizacional para superar a sua lenta digitalização [1-5]. A adoção de novas tecnologias é travada pela falta de "prova de valor", essencial para que os gestores justifiquem investimentos através de benefícios tangíveis [6-7]).

Além da escassez de estudos sobre o retorno para donos de obra privados, há um desfasamento entre as equipas operacionais, que compreendem a prática do BIM mas são frequentemente excluídos de processos de decisão, e a gestão estratégica, que decide a alocação de recursos para investir em BIM sem dispor de métricas consolidadas sobre seus benefícios a longo prazo [7]). Este artigo visa mitigar estas lacunas, demonstrando benefícios tangíveis e intangíveis que permitam aos donos de obra perceber como o BIM se traduz em valor agregado a longo prazo.

2. Metodologia

Este artigo baseia-se na dissertação de mestrado desenvolvida na Universidade do Minho [8], para a qual foi adotada uma metodologia híbrida com análises qualitativa e quantitativa. O estudo beneficiou do envolvimento ativo da gestão da LIMSEN Consulting, cujos contributos foram essenciais para obter uma visão aprofundada sobre os processos e resultados do caso de estudo de caso e para a articulação com as partes entrevistadas.

A parte qualitativa deste estudo foi baseada em entrevistas semiestruturadas com o objetivo de recolher perspetivas aprofundadas sobre os benefícios, custos e desafios associados à metodologia BIM sob a ótica de diferentes intervenientes. A entrevista semiestruturada permite ao entrevistador guiar a conversa para instigar insights imprevisíveis ao mesmo tempo que a mantém no tema da pesquisa, de forma que é possível obter informações aprofundadas e evidências sobre o mesmo. O painel de participantes reuniu 18 profissionais, dos quais os diversos intervenientes do estudo de caso permitiram perceber diversas perspetivas dentro de um mesmo contexto, enquanto a contribuição de um grupo adicional de especialistas externos, maioritariamente donos de obra no setor privado, permitiu ampliar a compreensão para um contexto de mercado mais amplo, cobrindo uma diversidade maior de perfis de donos de obra. As sessões foram orientadas por tópicos-chave como a identificação de benefícios tangíveis e intangíveis, a imputação de custos nos honorários e outros fatores de custo associados ao BIM, e as barreiras à implementação, capitalizando sobre a experiência dos entrevistados.

Na parte quantitativa, foi analisado o impacto financeiro de situações pertinentes ao estudo de caso, contrapondo os custos mínimos associados ao BIM com as economias mínimas realizadas para se chegar ao retorno mínimo estimado. Embora baseadas em dados de parcelas distintas do empreendimento, as análises foram integradas dada a comparabilidade do contexto e características dos edifícios. A quantificação das poupanças focou-se na mitigação de riscos que resultariam em atrasos de obra, calculando-se um custo mínimo mensal de atraso com base nos encargos de estaleiro, gestão de projeto, fiscalização, gestão BIM e licenças de CDE.

Devido à confidencialidade, os resultados são apresentados de forma anonimizada, sendo que os dados económicos como percentuais normalizados do custo total de construção.

3. Estudo de Caso: Operação Integrada de Entrecampos

O caso de estudo incide sobre a Operação Integrada de Entrecampos, um empreendimento de uso misto de grande escala em zona central de Lisboa, que acolherá a nova sede da Fidelidade Property. O projeto, iniciado em 2020 sob um modelo contratual de *design-bid-build*, abrange uma área de construção de cerca de 300.000 m² distribuída por cinco parcelas: três edifícios de escritórios (Parcelas A, B1 e C), um residencial (Parcela B2) e uma área de espaços públicos e

estacionamento subterrâneo (B3). A recolha de dados focou primordialmente na Parcela C, um edifício de 60.000 m² em fase final de construção. As parcelas A e B1, além de equivalentes em área e usos, também foram desenvolvidas pelas mesmas equipas e em circunstâncias semelhantes, razão pela qual seus dados e impactos foram analisados em conjunto.

Ao todo, o projeto contou com a colaboração de mais de 50 empresas, que incluíram 7 grandes empresas de arquitetura, 8 de engenharias, 2 de gestão de projetos e 1 de gestão de custos, além da gestão BIM. Devido à escala e complexidade do projeto, o dono de obra em conjunto com os gestores de projeto decidiram no início que seria adequado desenvolver o projeto em BIM, visto que a metodologia permite organizar o projeto de maneira muito estruturada e facilita a colaboração entre equipas multidisciplinares dispostas em diversas regiões geográficas.

Sendo o primeiro projeto deste dono de obra desenvolvido em BIM, a implementação visou além das fases de projeto e construção, também a futura operação. A Limsen Consulting assumiu a Gestão BIM, apoiando a definição de Requisitos de Informação e a gestão de processos segundo a norma ISO 19650 [9]. Foram estabelecidos Usos BIM estratégicos para o ciclo de vida do ativo, incluindo Autoria de Projeto, Revisão de Projeto, Coordenação 3D, Extração de Quantidades a partir do modelo ("BIM 5D"), Planeamento de Manutenção do Edifício, Modelação As-Built e gestão de ativos (FM), evitando-se, contudo, uma complexidade excessiva para garantir a exequibilidade perante a maturidade das equipas e os prazos exigentes. Estes usos BIM embasaram o plano de execução BIM (BEP) para a fase de projeto, o qual foi desenvolvido de forma colaborativa no Plannerly, plataforma que permite rastrear alterações nos documentos ao longo do ciclo de vida do projeto, e inclui uma matriz de entrega da informação, a qual especifica o nível de informação necessário para cada fase de projeto e determina os responsáveis por produzir e entregar a informação.

A gestão da informação foi centralizada num Common Data Environment (CDE), BIM360, essencial para o trabalho de mais de 243 membros, permitindo a colaboração em tempo-real em modelos (*worksharing*) e o versionamento e rastreamento de ficheiros, além de disponibilizar ferramentas de visualização e anotação. A coordenação baseou-se num modelo federado em Autodesk Navisworks, com mais de 65 modelos rigorosamente georreferenciados, que integrou ainda levantamentos por nuvem de pontos da envolvente urbana e infraestruturas subterrâneas (Figura 1). As questões de coordenação foram geridas através das *Issues* no BIM360.

Para a fase de execução, os processos de concurso para cada parcela exigiram aos empreiteiros a apresentação de preços específicos para as atividades BIM e um BEP pré-contratual, respondendo a um *Exchange Information Requirement* (EIR) detalhado. Os contratos incluíram cláusulas de erros e omissões e estipularam a obrigatoriedade de uso exclusivo dos modelos em preparação de obra e atualização contínua dos modelos em obra, assegurando a entrega de modelos *As-Built* aptos para suportar a futura gestão de ativos pretendida pelo proprietário.

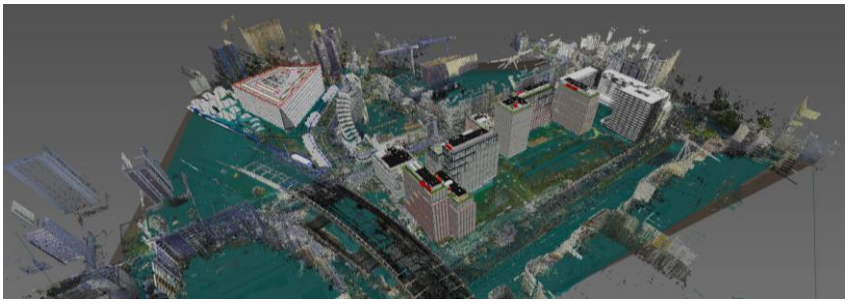


Figura 1: Modelo federado da Operação Integrada de Entrecampos [10]

4. Análise

Observou-se uma correlação direta entre a maturidade BIM e a experiência na indústria, permitindo aos intervenientes do caso de estudo contribuir com evidências concretas de benefícios e desafios baseadas em suas experiências prévias com BIM. Em contraste, os entrevistados externos, apesar de suas vastas experiências profissionais e visão positiva, basearam-se maioritariamente em suposições devido ao estágio ainda inicial de implementação da metodologia nas suas empresas.
Os resultados gerais demonstraram um consenso de 94% entre os entrevistados de que o BIM contribui efetivamente para a redução de custos, paralelamente a uma perceção de mitigação de riscos apontada por 89% dos participantes. Contrariando a prática histórica de agravamento de honorários, 75% dos prestadores de serviços indicaram não cobrar custos adicionais ao dono de obra, por reconhecerem os benefícios internos da metodologia (excetuando-se desta estatística os empreiteiros gerais, que discriminaram estes valores específicos nas propostas a concurso). A metodologia foi validada por 72% dos profissionais como vantajosa para todos os intervenientes do projeto, e não apenas o cliente, enquanto adicionais 22% afirmaram que BIM torna o processo mais justo para todos. Houve ainda uma forte concordância entre os donos de obra entrevistados (88%) quanto ao potencial do BIM para acrescentar valor na venda do ativo, prevendo-se a sua plena valorização financeira com o aumento da maturidade do mercado.

4.1. Benefícios e economias

A análise qualitativa evidenciou que os benefícios intangíveis, muitas vezes mais determinantes que os tangíveis (embora mais difíceis de identificar e complexos de estimar o impacto financeiro), convergem para uma gestão de risco superior, onde a antecipação de problemas substitui a reação a erros em obra. Em Entrecampos, onde o dono de obra apropriou-se do BIM, isto resultou numa redução drástica de Pedidos de Alteração (*Change Orders*), registando-se apenas duas ocorrências de baixo impacto numa fase avançada da estrutura, caso inédito em mais de 30 anos de experiência profissional do entrevistado em questão. Este cenário contrasta, de acordo com um dos gestores de projeto do estudo de caso, com a média do mercado português, onde estima-se que desvios orçamentais por alterações de projeto oscilam frequentemente entre 10 a 20% do custo total de construção. Segundo ele, com a redução de apenas 4% destes pedidos, por exemplo, já se pagam os custos do BIM. “É o custo de fazer o projeto bem à primeira, ao invés de fazer dois projetos.”
A visualização tridimensional e a centralização da informação, ao passo que plantas e secções deixam de fora aspetos importantes que seriam percebidos apenas na construção, facilita a compreensão do projeto em suas diversas esferas, desde as equipas de projeto até as entidades públicas e o próprio dono de obra, democratizando também o acesso à informação técnica para *stakeholders* não especialistas que dificilmente interpretam desenhos 2D complexos. O modelo confere à cada interveniente tempo e espaço para analisar e tomar decisões, possibilitando que as discussões em reuniões sejam mais ricas com a participação de pessoas mais bem equipadas. Esta capacidade de visualização espacial e funcional permite aos decisores antecipar escolhas críticas e evitar alterações tardias, como demonstrado no caso de estudo, onde a análise do modelo impediu a remoção inadvertida de elementos estéticos da fachada (chanfros) que causariam disrupções significativas durante a construção. Além de agilizar a aprovação estratégica, o modelo serve como ferramenta quotidiana para o alinhamento entre equipas de projeto e fiscalização, permitindo uma resolução mais rápida de dúvidas e mitigando riscos de

interpretação errónea da documentação bidimensional. Para o dono de obra, além de os permitir navegar pelo projeto e analisá-lo no seu próprio tempo, também os permite enquadrar pontos de vista específicos para mostrar o que desejam alterar ou explicar às entidades o que se pretende, o que permite aos decisores validar escolhas estéticas e funcionais precocemente e com maior assertividade. Destaca-se, no caso de estudo, a eliminação em fase de projeto de uma escadaria que não cumpria as funções desejadas pelo dono de obra, gerando uma **poupança direta estimada em 0,10% do custo total de construção** e evitando paragens de obra. Os decisores com maior responsabilidade dispõem, geralmente, de menos tempo para a tomada de decisão, pelo que existem oportunidades muito limitadas para lhes apresentar o projeto. Se, por um lado, a visualização tridimensional simplifica a transmissão da intenção projetual, por outro, assegura a sua imediata apreensão por parte de pessoas não especialistas.

Para além da visualização tridimensional, a estrutura de um processo BIM possibilita, por natureza, uma compreensão mais ágil e eficaz do projeto como um todo, de forma que as pessoas possam rapidamente se familiarizar com o projeto e compreendê-lo à fundo. Segundo o empreiteiro entrevistado, normalmente são necessários aproximadamente 15 dias em tempo integral para um novo integrante de equipa começar a perceber um projeto, enquanto com os modelos de informação a perceção é quase imediata, não apenas pela possibilidade de navegar pelo modelo, mas também por toda a informação estruturada e integrada neste. Transversalmente, a qualidade da informação e a automatização de processos, como a extração de quantidades, conferem maior certeza aos concursos e à execução, podendo inclusive agregar valor ao ativo através da entrega de modelos preparados para a gestão de ativos.

A gestão da informação destaca-se como o alicerce para a eficiência do projeto, onde a centralização de dados num CDE permite transformar o modelo numa base de dados acessível, garantindo a disponibilidade da informação correta, coordenada, e no nível de detalhe adequado para cada interveniente. A padronização rigorosa, aliada à definição de Requisitos de Informação segundo a ISO 19650-2 [9], reduz a redundância e a latência de informação, o que mitiga o risco de erros por obsolescência e promove fluxos de trabalho mais eficientes. A informação estruturada no que se torna essencialmente uma base de dados leva, portanto, à duas principais consequências: maior agilidade para encontrar e processar informação.

Essa base de dados sobre modelo, finalmente, pode ainda conferir valor comercial agregado por duas vertentes: indiretamente, pela própria riqueza de informação, que agiliza processos de *due diligence* e transmite transparência e segurança na venda de um ativo; e diretamente, quando potenciais compradores têm a intenção de realizar a Operação e Manutenção do Ativo a partir do modelo. Neste último caso, ainda é complexo estimar o valor real de mercado, embora seja um fator inevitável a longo prazo, já que a falta de informação leva a custos mais altos de operação do ativo. Segundo um dono de obra entrevistado, “a riqueza e profundidade de informação disponível facilita as tomadas de decisão sobre dados ao invés de intuição”.

A sistematização dos dados no modelo BIM facilita a execução de verificações rigorosas e mais assertivas, permitindo às equipas de projeto validar requisitos técnicos, como dimensões de espaços e rotas de fuga, e aos empreiteiros garantir o cumprimento estrito do escopo contratado. Outro benefício importante é o controle que se tem sobre as condições na obra, sejam pré-existentes ou executadas no escopo do projeto, com sobreposições que podem expor constrangimentos indetetáveis por vias manuais (ou quando seria necessário alocar muito tempo e esforços para detetá-los sem BIM. Ao comparar modelo com levantamentos a laser de condições pré-existentes é possível analisar as interferências entre o projeto e a infraestrutura pré-existente, facilitando a comunicação com entidades licenciadoras para a aprovação rápida

de alterações necessárias. Já ao compará-lo com levantamentos a laser daquilo que já foi construído em determinada fase da obra, permite perceber os desvios e fazer o ajuste proativo dos projetos, evitando que imprecisões de obra se transformem em problemas complexos e dispendiosos em fases posteriores. As retificações de obra podem ser simuladas e pré-aprovadas visualmente no modelo, conferindo aos decisores um maior grau de certeza. Na Parcela C de Entrecampos, a sobreposição de nuvem de pontos com o modelo de projeto permitiu detetar atempadamente conflitos graves com infraestruturas subterrâneas pré-existentes, evitando um atraso estimado de 6 a 12 meses (**impacto de 0.36% do custo total de construção**).

A centralização da informação num modelo estruturado permite a automatização de tarefas recorrentes, deslocando o esforço de processos operacionais manuais para uma vertente analítica de maior valor agregado. No caso de estudo, esta capacidade foi evidenciada na conceção da fachada, onde a interoperabilidade entre software de modelação e scripts viabilizou a execução automatizada de centenas de iterações de estudos solares num único modelo, otimizando um processo que tradicionalmente exigiria a modelação individual de cada opção. Além da otimização do design, a estruturação de dados permite variadas simulações para perceber o impacto de decisões chave, como simulações de orçamento e de planeamento de obra, capacitando o dono de obra a avaliar o impacto económico de diferentes soluções técnicas baseando-se em quantidades e dados extraídos diretamente do modelo.

A capacidade de antecipação de problemas, que permeia todo o processo apesar de ser mais óbvia na coordenação 3D, reuniu consenso absoluto entre os entrevistados, destacando-se como o aspeto primordial para transferir a resolução de conflitos para as fases iniciais onde os esforços e o impacto financeiro são reduzidos [11]. A modelação permite aos projetistas uma perceção imediata das implicações espaciais de cada decisão e a verificação contínua de interferências entre disciplinas, induzindo um maior escrutínio antes de partilhar seu trabalho.

A coordenação 3D, reconhecida por 83% dos participantes como um benefício central, permite a mitigação de erros através de verificações visuais e da deteção automática de conflitos, transferindo a resolução de incompatibilidades para a fase de projeto e reduzindo drasticamente a frequência e gravidade de paragens em obra. Esta antecipação mostra-se crítica para evitar a morosidade inerente aos processos tradicionais, onde a gestão de uma incompatibilidade detetada apenas em obra implica processos de Pedidos de Informação (*RFI*), estimados em cerca de 10 dias apenas para a mobilização dos intervenientes. No caso de estudo, a eficácia desta abordagem foi evidenciada na Parcela C, onde foram identificados mais de 1000 conflitos durante a coordenação, restando 500 questões pendentes no final da fase de projeto que dificilmente seriam detetadas por métodos tradicionais. Os conflitos foram classificados pela Gestão BIM por severidade e tempo estimado de resolução em obra: simples (2 dias), médio (5 dias) e difícil (10 dias). Aplicando um fator de simultaneidade de 5 para resoluções paralelas, estimou-se que a antecipação destes problemas evitou 332,2 dias de atraso na construção [10]. Financeiramente, esta mitigação de atrasos corresponde a uma **poupança potencial de 4,35% do custo total de construção da parcela**, um valor conservador que considera apenas os custos temporais e exclui os custos materiais de demolição e reconstrução. Ainda no caso de estudo, foi possível a resolução de conflitos complexos em elementos estruturais com cabos pré-esforçados: o recurso à modelação detalhada destes elementos permitiu sanar incompatibilidades que, segundo o empreiteiro, teriam causado um atraso estimado de um mês na empreitada, **correspondendo a 0,06% do custo total de construção**. Enquanto é inevitável deparar-se com problemas na construção, a coordenação de projetos baseada em BIM resulta em quantidade e especialmente complexidade significativamente menores de problemas.

A extração de quantidades baseada em modelos permite mitigar a propensão ao erro inerente aos métodos manuais, automatizando as medições através da associação direta entre elementos do modelo e a estrutura analítica de custos. Esta abordagem gera uma base de dados auditável que se pode se tornar decisiva durante a fase de concurso, permitindo aos gestores de projeto identificar rapidamente desvios nas propostas dos empreiteiros e otimizar custos de forma fundamentada através da visualização gráfica dos itens orçamentados. Aos gestores de custo, esta base de dados de custo permite rapidamente dominar os mapas de quantidades, percebendo a relação entre os artigos dos mapas de quantidade e os elementos de modelo (projeto). A relevância deste controlo de qualidade foi evidenciada no caso de estudo, onde a comparação prévia entre os mapas de quantidades tradicionais e as extrações automáticas do modelo expôs discrepâncias significativas, com taxas de correspondência direta a variarem entre 24% e 69% em algumas disciplinas, possibilitando a correção destes desvios antes da contratação da empreitada (com cláusula de erros e omissões) e assegurando uma maior certeza orçamental. Em obras sem cláusula de erros e omissões, entretanto, erros de mapas de quantidades encontrados durante a fase de construção resultam tipicamente em Pedidos de Informação e Trabalhos a Mais, levando à longas negociações.

Na Operação Integrada de Entrecampos, a verificação de quantidades nas Parcelas A e B1 comparou os Mapas de Quantidades apresentados pelos projetistas com a extração automática de quantidades dos modelos, aplicando uma tolerância de 5%. Esta análise assenta na premissa de que itens sobrestimados representam um desperdício financeiro direto (o dono de obra paga por material não aplicado, valor frequentemente retido pelo empreiteiro), enquanto itens subestimados resultam invariavelmente em trabalhos a mais, gerando custos imprevistos e litigância durante a obra. A análise revelou discrepâncias significativas em disciplinas como arquitetura e MEP, onde itens subestimados gerariam trabalhos a mais e itens sobrestimados representariam custos desnecessários para o dono de obra. Uma descoberta crítica foi que uma parte significativa dos itens do MQ não pôde ser comparada diretamente. Isto ocorreu porque certos elementos não estavam modelados, não tinham a classificação adequada ou faltavam meta dados necessários para a extração automática. Consequentemente, os valores iniciais de desvio financeiro (subestimados e sobrestimados) refletiam apenas a parcela auditável do projeto, não representando a totalidade do risco financeiro.

Na análise financeira, inicialmente calculou-se o impacto direto apenas dos itens que puderam ser verificados. Multiplicou-se o preço unitário pela quantidade extraída do modelo para obter o valor real e comparou-se com o valor orçamentado. Para projetar o impacto financeiro real foi necessário aplicar uma normalização estatística, assumindo que os itens não verificados seguiriam a mesma tendência de erro dos verificados (mesma equipa, mesmo projeto, mesma disciplina). Foi aplicada uma fórmula de normalização onde a soma dos itens subestimados, sobrestimados e adequadamente estimados passou a corresponder a 100%, distribuindo proporcionalmente a percentagem dos "não calculados" pelas categorias conhecidas. Contudo, a magnitude destes desvios deve ser contextualizada pela relevância financeira de cada especialidade, uma vez que taxas de erro semelhantes têm repercussões financeiras distintas dependendo das especificidades de cada especialidade. Após um processo de correção de quatro semanas com as equipas de projeto, a precisão dos MQTs foi drasticamente melhorada antes da fase de concurso. O impacto financeiro da correção destes desvios totalizou uma **poupança potencial de 5,69% do custo de construção** das parcelas analisadas.

4.2. Custos e desafios

Em termos de custos, 86% dos proprietários e ambos os gestores de projeto consideram o investimento em BIM pouco expressivo no contexto global da empreitada e facilmente amortizável pelos benefícios gerados. Os encargos principais identificados recaem sobre: a consultoria de Gestão BIM, que no caso de estudo representou apenas 0,07% do custo total de construção, sendo considerada indispensável para assegurar a qualidade dos dados e o cumprimento dos objetivos; e a contratação de empreiteiros, onde a exigência de equipas dedicadas e preparação de obra em BIM pode representar um acréscimo estimado entre 0,5% e 1%. Relativamente à conceção, embora 75% dos prestadores de serviços não agravem honorários, por se beneficiarem também da metodologia, reconhece-se a legitimidade de aumento de honorários em alguns casos devido à transferência de esforços de coordenação para a fase de projeto, distinguindo-se este ajuste necessário de taxas arbitrárias cobradas pela novidade tecnológica. Ao analisar os custos de um empreendimento, remover o BIM tem pouco impacto no orçamento final, enquanto seus benefícios têm impactos significativos não apenas em economias diretas, mas também em termos de qualidade de processos e do produto final.

A adoção do BIM exige uma transformação profunda que transcende a mera componente tecnológica, implicando uma mudança de mentalidade e a redefinição de papéis, fluxos de trabalho e responsabilidades em prol de uma metodologia colaborativa e estruturada. Esta transição impõe que a modelação deixe de ser uma representação simbólica para refletir rigorosamente o processo construtivo, transferindo esforços para a fase de projeto, onde ciclos de coordenação mais exaustivos e tecnicamente exigentes são necessários para prevenir problemas em obra. Embora a curva de aprendizagem e a necessidade inicial de padronização, como a configuração de regras de parametrização e *templates*, possam gerar quebras temporárias de produtividade, revela-se imperativo resistir ao recurso a métodos tradicionais ou "atalhos" manuais que, apesar de aparentemente mais rápidos no imediato, comprometem a integridade da informação, as automatizações e a gestão eficaz ao longo do ciclo de vida.

A implementação BIM impõe desafios significativos, especialmente para donos de obra iniciantes, a começar pela dificuldade em elaborar cadernos de encargos para serviços de Gestão BIM devido à novidade do papel e às necessárias mudanças organizacionais e processuais, a par do exigente esforço inicial para, sob orientação da própria gestão BIM, definir os Requisitos de Informação com um rigor superior ao dos métodos tradicionais. A estes fatores somam-se limitações tecnológicas em projetos de grande escala, onde o volume de dados pode exceder a capacidade de hardware e software, exigindo estratégias de federação de modelos e uma gestão cuidadosa da informação para evitar a sobrecarga dos sistemas. Adicionalmente, a transição da fase de projeto para a obra revela-se um ponto crítico devido ao ceticismo e à menor maturidade digital no estaleiro, bem como à escassez de ferramentas BIM adaptadas à realidade da construção, obrigando a uma mitigação de riscos baseada na seleção criteriosa de equipas e na definição clara de processos desde o início, tal como acontece para a fase de projeto.

4.3. Recomendações práticas para donos de obras

O sucesso no desenvolvimento de projetos BIM depende primordialmente do estabelecimento de fundações sólidas, onde a definição de objetivos claros e Usos BIM exequíveis (proporcional à escala e complexidade do projeto, como recomenda a ISO 19650), deve prevalecer sobre tentativas de implementação total imediata, permitindo uma evolução incremental da maturidade digital. É fundamental que esta estratégia seja suportada por alterações contratuais e pela definição rigorosa de Requisitos de Informação alinhada aos objetivos, geridos num *CDE*

sob a orientação de uma Gestão BIM. Recomenda-se ainda a validação precoce de aspetos técnicos críticos, como a georreferenciação e fluxos de interoperabilidade, e uma análise de custo-benefício que abrange todo o ciclo de vida do projeto: É importante reconhecer que o esforço inicial de padronização e introdução de dados é compensado pelos ganhos a longo prazo, potenciados pela escolha de equipas recetivas à mudança metodológica.
Existe uma dificuldade em estabelecer comparações diretas entre o desenvolvimento em BIM e os métodos tradicionais, dada a unicidade de cada projeto e a presença de inúmeros fatores intangíveis. A análise do custo-benefício depende, portanto, da análise de cenários condicionais e da mitigação de riscos que, sem o uso da metodologia, teriam provavelmente resultado em problemas detetados apenas em obra. Neste contexto, a Gestão BIM, frequentemente apontada como um encargo adicional, foi validada pelos participantes como um investimento com retorno positivo, essencial para estruturar processos e assegurar a qualidade final do projeto.
Em termos de equipas, nota-se uma correlação direta entre a predisposição das equipas para a mudança de mentalidade e o sucesso na implementação: os intervenientes que adotaram o BIM como metodologia integral, enquanto compreendem os desafios, reconheceram os benefícios e encararam a curva de aprendizagem como um investimento, identificando inclusive potencialidades além de seu escopo. Em contrapartida, as ineficiências e limitações foram reportadas maioritariamente por equipas que mantiveram processos de trabalho tradicionais, convertendo os projetos para BIM apenas para cumprimento de entregas, abordagem que duplica esforços sem capitalizar as vantagens de coordenação e automação da metodologia.
Para o dono de obra, o maior valor do BIM reside no aumento do grau de certeza e na redução do risco, intrínseca nas tomadas de decisão baseadas em dados. A capacidade de analisar o projeto em tempo real e alinhar as expectativas de todos os intervenientes permite mitigar alterações tardias decorrentes de falta de compreensão ou planeamento. Ao agilizar processos correntes e antecipar problemas, o BIM permitiu concentrar esforços na resolução de questões complexas, levando o dono de obra a concluir que a metodologia não representa um custo, mas sim um investimento indispensável para a segurança financeira e qualidade dos seus ativos, passando a exigi-la como requisito obrigatório em futuros empreendimentos.

5. Conclusão

Dispor de uma base de dados essencialmente construída sobre modelos de informação permite a gestão de risco baseada em dados e reduzir, portanto, o risco do investimento, substituindo decisões intuitivas por processos analíticos fundamentados na informação extraída do modelo. Os entrevistados que revelaram os benefícios mais impactantes do BIM também foram aqueles o identificaram como metodologia que viabiliza processos baseados em dados. A centralização dos dados permite alinhar as expectativas dos *stakeholders* com os objetivos do cliente, resultando numa redução expressiva de *RFI* e de Pedidos de Alteração (*Change Orders*), ambos os quais têm impactos importantes em termos de custos. Esta abordagem conferiu na Operação Integrada de Entrecampos um grau de certeza superior aos processos de concurso, minimizando desvios de quantidades e disputas. A transição para a fase de construção também se torna mais robusta, onde a antecipação de problemas e a incorporação de lições aprendidas tornam a gestão da informação numa ferramenta ativa para a mitigação de atrasos e controlo de qualidade.
Na Operação Integrada de Entrecampos, estima-se que o BIM viabilizou uma economia potencial mínima de 10,6% do custo total de construção. Em contrapartida, os custos totais

associados à implementação da metodologia, englobando o acréscimo de custos contratuais com empreiteiros para serviços BIM (3,10%), a Gestão BIM (0,44%) e o CDE (0,01%), somaram apenas 3,5% do custo total. Conclui-se, portanto, que as economias possibilitadas pelo BIM representam praticamente o triplo do investimento realizado na metodologia.
A obtenção de resultados desta magnitude exige mudanças profundas nos fluxos de trabalho e na mentalidade dos profissionais, sendo imperativo o envolvimento de equipas qualificadas, uma vez que o BIM não substitui a competência técnica.

Agradecimentos
Este trabalho parcialmente apoiado pela FCT/MCTES no âmbito da Unidade de I&D Instituto para a Sustentabilidade e Inovação em Estruturas de Engenharia (ISISE), com as referências UID/4029/2025 (https://doi.org/10.54499/UID/04029/2025) e UID/PRR/04029/2025 (https://doi.org/10.54499/UID/PRR/04029/2025), e no âmbito do Laboratório Associado Produção Avançada e Sistemas Inteligentes ARISE com a referência LA/P/0112/2020.

Referências

[1] Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., Liston, K., *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modelling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors.* 2nd ed. John Wiley & Sons, Inc., 2011.
[2] European Comission, 2021. "*Calculating Costs and Benefits for the use of Building Information Modelling in Public tenders,*". Luxembourg: Publications Office of the European Union. doi: 10.2826/79064
[3] Ribeirinho, M.J., Mischke, J., Strube, G., Sjödin, E., Blanco, J.L., Palter, R., Biörck, J., Rockhill, D., Andersson, T., "*The next normal in construction,*" 2020.
[4] Agarwal, R., Chandrasekaran, S., Sridhar, M., "*Imagining construction's digital future,*" Singapore, 2016.
[5] Gerbert, P., Castagnino, S., Rothballer, C., Renz, A., Filitz, R., "*Digital in Engineering and Construction The Transformative Power of Building Information Modeling*", 2016.
[6] Botchkarev, A., Andru, P., "*A Return on Investment as a Metric for Evaluating Information Systems: Taxonomy and Application,*" *Interdisciplinary Journal of Information, Knowledge, and Management*, vol. 6, pp. 245–269, 2011.
[7] Dehlin, S., Olofsson, T., "*An Evaluation Model for ICT Investments in Construction Projects,*" ITCon, vol. 13, pp. 343–361, 2008.
[8] Costa, A. H., "*The Value of BIM for Owners: A multi-stakeholder study focused on an office building*", Universidade do Minho, 2024.
[9] ISO 19650-2:2018 "*Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) — Information management using building information modelling,*" International Organization for Standardization (ISO), 2018.
[10] Lima, F., Roux, S., Hipólito, A., Feio, C., Silva, A., "Projeto da sede da Fidelidade: Ciclo de vida BIM do programa preliminar à obra," in: 5º Congresso Português de *Building Information Modelling*, Lisboa, Portugal, 2024, vol. 2, pp. 571-581. doi: 10.21814/uminho.ed.164.47
[12] Construction Users Roundtable, "*Collaboration, Integrated Information, and the Project Lifecycle in Building Design, Construction and Operation,*" Cincinnati, OH, EUA, 2004.

12345

INTEGRAÇÃO DE PROCESSOS BIM, ISO 19650 E LEGISLAÇÃO BRASILEIRA NA GESTÃO DE OBRAS PÚBLICAS EDUCACIONAIS

Talita Dal´Bosco, Rui M. Lima, Miguel Azenha

ptBIM

INTEGRAÇÃO DE PROCESSOS BIM, ISO 19650 E LEGISLAÇÃO BRASILEIRA NA GESTÃO DE OBRAS PÚBLICAS EDUCACIONAIS

Talita Dal´Bosco [(1)], Rui M. Lima [(2)], Miguel Azenha [(3)]

(1) Universidade do Minho, ISISE, ARISE, Departamento de Engenharia Civil, Guimarães, Portugal, ID ORCID 0000-0001-8684-7904
(2) Universidade do Minho, Algoritmi/LASI, Departamento de Produção e Sistemas, Escola de Engenharia, Guimarães, Portugal, ID ORCID 0000-0002-7991-0132
(3) Universidade do Minho, ISISE, ARISE, Departamento de Engenharia Civil, Guimarães, Portugal, ID ORCID 0000-0003-1374-9427

Resumo
Este artigo propõe um modelo de processo para o redesenho do macroprocesso de contratação de obras públicas educacionais no Brasil, centrado na relação contratual entre uma agência federal (FNDE) e os municípios. O modelo integra a metodologia BIM e diretrizes da ISO 19650 aos fluxos de trabalho, assegurando conformidade com a Lei nº 14.133/2021. O diagnóstico do processo atual revelou gargalos críticos, como fluxos de informação fragmentados, análises técnicas e medições manuais, e baixa confiabilidade dos dados no monitoramento da execução, onde o avanço físico é reportado com percentuais agregados em macroserviços. O modelo proposto, apoiado em BPMN, reposiciona a governança da informação ao incorporar princípios da ISO 19650 e ao operacionalizar entregas e verificações apoiadas em BIM. As soluções incluem a formalização de um requisito de informação institucional (F-EIR), o uso de templates de EIR/BEP para apoiar municípios com baixa maturidade digital, e a evolução da atual plataforma – SIMEC – para atuar como um Ambiente Comum de Dados (CDE), assegurando controle de versão e rastreabilidade. Para o monitoramento, propõe-se a substituição da medição manual pelo registro estruturado do avanço físico no modelo BIM (IFC/BCF). O resultado é uma diretriz replicável para qualificar a gestão pública e aumentar a auditabilidade.

1. Introdução

As obras públicas podem estimular a produtividade e a competitividade e contribuir para a dinâmica econômica do país [1]. Apesar desse potencial, os resultados frequentemente ficam aquém do esperado, com desvios recorrentes de custo e prazo e níveis de satisfação reduzidos [2], o que compromete a boa gestão do recurso público. Esse quadro é agravado pela complexidade associada ao volume de informações, à multiplicidade de atores, riscos e ferramentas empregadas [3], além de falhas de planejamento e fiscalização insuficiente, que se traduzem em retrabalho e baixa rastreabilidade.

No caso dos programas federais de financiamento de obras públicas educacionais, a efetividade do acompanhamento depende da capacidade dos municípios de contratar, fiscalizar e reportar o avanço físico-financeiro, enquanto a agência federal – Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação (FNDE) – atua na validação e controle do uso dos recursos públicos. No processo atual, o avanço físico tende a ser reportado por percentuais agregados e sustentado por evidências dispersas, o que leva a análises manuais e a ciclos de diligências antes da liberação de pagamentos.

Nesse contexto, o *Building Information Modelling* (BIM) se destaca por integrar modelos digitais e dados ao longo do ciclo de vida, favorecendo a colaboração e decisões mais embasadas [1], [4]. No Brasil, buscando capturar esses benefícios, a Lei nº 14.133/2021 incentiva o uso preferencial do BIM em licitações e contratos administrativos [5]. Contudo, sua aplicação efetiva exige integrar práticas BIM e governança da informação aos fluxos administrativos existentes. A ISO 19650 [6] oferece um arcabouço para a gestão da informação ao longo do ciclo de vida do ativo, definindo papéis, requisitos e validações em um Ambiente Comum de Dados (CDE). Ainda assim, persistem desafios institucionais relevantes para sua implementação, especialmente relacionados à cultura de processos e à governança de dados [7].

Nesse sentido, o mapeamento de processos é um passo inicial da gestão por processos, pois explicita a cadeia de recursos e informações e apoia a melhoria contínua. Ferramentas como o *Business Process Model and Notation* (BPMN), ratificado pela ISO 19510 [8], são adequadas para representar processos complexos. Assim, a integração entre BPMN, ISO 19650 e a legislação na contratação pública contribui para padronizar entregáveis, reduzir variações e reforçar a rastreabilidade.

Diante disso, este artigo apresenta um modelo para o processo proposto (TO-BE), modelado em BPMN, para a gestão de obras públicas educacionais, centrado na relação contratual entre o FNDE e os municípios brasileiros, com aprofundamento da etapa S5 (Execução e Monitoramento da Obra). O foco recai nos processos P18 a P22, em que a informação de execução física da obra é produzida, validada, monitorada e supervisionada, sustentando a decisão federal de aprovação e encaminhamento para pagamento. O modelo articula a ISO 19650 (partes 1 e 2) [6], [9] e a legislação nacional, estruturando atividades, responsabilidades, trocas informacionais e entregáveis. Embora ancorado no contexto do FNDE, o modelo é aplicável a cenários com baixa maturidade digital.

2. O Padrão FNDE de gestão de obras públicas

O Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação (FNDE), vinculado ao Ministério da Educação (MEC), presta assistência técnica e financeira aos municípios para a implantação de infraestrutura educacional. O apoio envolve a construção, ampliação e reforma de edificações escolares, tanto por meio de projetos desenvolvidos pelos próprios municípios quanto pelo uso opcional de projetos padronizados disponibilizados pela instituição. Para apoiar a execução baseada em projetos padronizados, o FNDE mantém um catálogo de soluções arquitetônicas e de engenharia para diferentes tipologias, como unidades de educação infantil, escolas de ensino fundamental e quadras poliesportivas. Para cada tipologia, são disponibilizados desenhos técnicos (arquitetura, estrutura e instalações), memoriais e planilhas orçamentárias de referência, com base em composições e preços do SINAPI [10].

O fluxo de implementação das ações financiadas segue uma dinâmica institucional em que os municípios estruturam o diagnóstico e o planejamento, submetem propostas por meio do Sistema Integrado de Monitoramento, Execução e Controle (SIMEC) e, quando aprovadas, formalizam instrumentos com o FNDE. Após essa etapa, os municípios realizam licitação, contratam a empresa executora e fiscalizam a obra, enquanto o FNDE acompanha a execução, valida informações e transfere recursos conforme o avanço físico reportado, conforme figura 1. Nesse ciclo, o SIMEC opera como plataforma central de comunicação e registro, concentrando propostas, análises técnicas, dados contratuais e relatórios de andamento, constituindo o principal rastro digital para o monitoramento institucional.

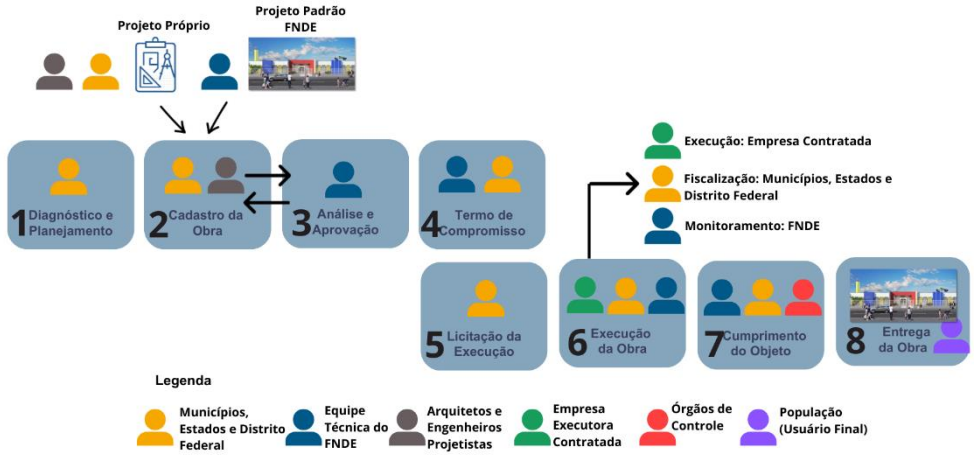


Figura 1: Fluxo contratual entre o FNDE e os municípios, adaptado de FNDE, 2023.

Reconhecendo o potencial do BIM para qualificar projetos públicos e induzir melhorias no setor, o FNDE instituiu sua Estratégia BIM em 2018, buscando alinhar práticas internas aos avanços nacionais [11]. No âmbito dessa estratégia, a instituição passou a desenvolver e disponibilizar modelos BIM, ver figura 2, dos projetos padronizados, com interoperabilidade baseada no padrão IFC [12][13]. Esses modelos funcionam como referência técnica e reforçam o uso de padrões abertos no ecossistema institucional.

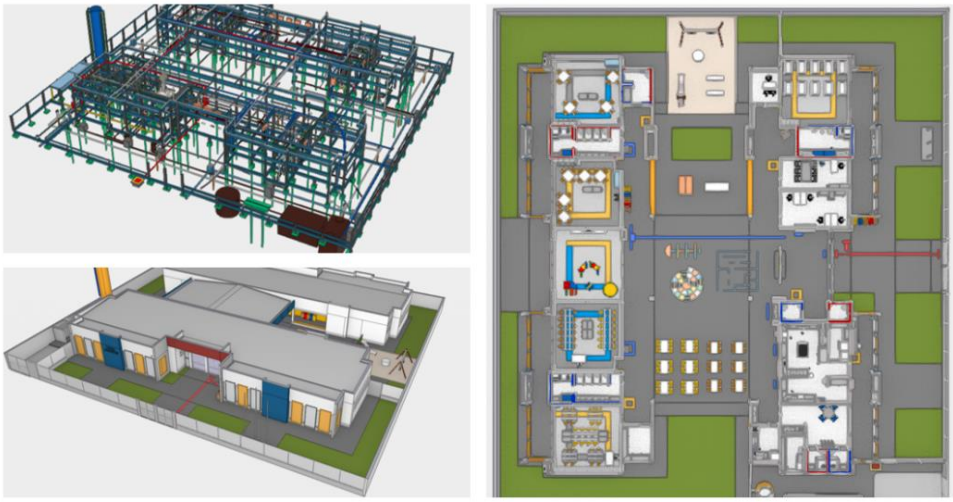


Figura 2: Modelo BIM do Projeto Padrão Creche e Pré-Escola Tipo 2, FNDE, 2025.

3. Método

Foi conduzido um estudo de caso qualitativo e exploratório, centrado no fluxo de gestão de obras públicas educacionais entre o FNDE e municípios brasileiros, no modelo tradicional de contratação projeto-licitação-construção, combinando análise documental, observação direta e entrevistas semiestruturadas. A coleta ocorreu no segundo semestre de 2023, incluindo observação direta de 20 reuniões operacionais e 10 entrevistas com profissionais do FNDE (gestores e técnicos), selecionados por atuação direta no processo, experiência e disponibilidade; as entrevistas foram registradas por anotações detalhadas, posteriormente sistematizadas e codificadas. As evidências foram analisadas por triangulação entre documentos, observações e entrevistas, e os gargalos do processo atual foram consolidados pela recorrência de problemas identificados nas três fontes.
Na sequência, os macroprocessos foram modelados em BPMN com o Bizagi Modeler, distinguindo-se o estado atual (AS-IS) do estado proposto (TO-BE). O processo atual considerou atividades, atores, trocas de informação e exigências legais aplicáveis, enquanto o modelo proposto foi delineado a partir do diagnóstico do processo atual e da incorporação de diretrizes da ISO 19650-2 [9]. No fluxo de contratação atual, foram identificados vinte e seis processos agrupados em seis etapas (S1–S6), conforme figura 3. Os atores envolvidos no macroprocesso foram organizados em três grupos: (i) FNDE; (ii) municípios; e (iii) empresa e identificados como responsáveis em cada um dos vinte e seis processos. Além disso, identificou-se que a troca de informações entre FNDE e municípios ocorre por meio da plataforma online SIMEC.

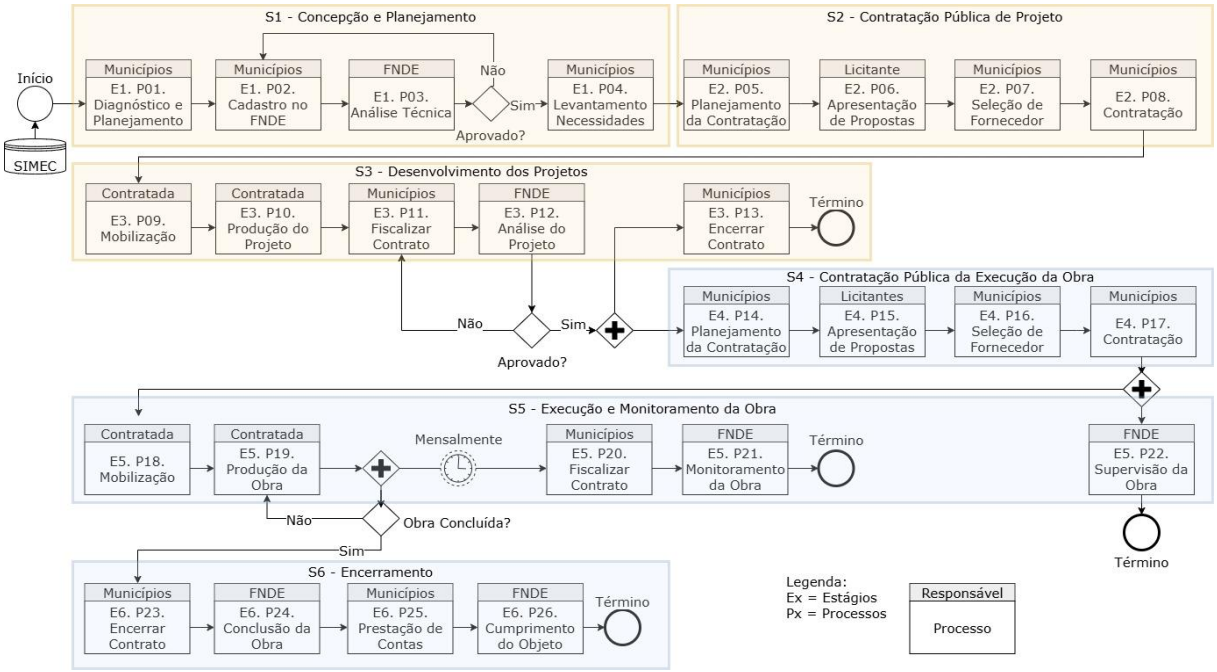


Figura 3: Macroprocesso de contratação de obras públicas educacionais. FNDE-Municípios.

Embora todo o macroprocesso tenha sido mapeado e em razão da limitação de espaço, este artigo se concentra na etapa S5 (Execução e Monitoramento da Obra), com foco nos processos P18 a P22, caracterizando atores, entradas/saídas informacionais e pontos de decisão relevantes

para fiscalização, monitoramento e supervisão. A opção por detalhar essa etapa decorre do fato de que nela o avanço físico-financeiro é formalizado e se concentram as decisões de liberação de recursos, tornando crítica a qualidade, consistência e rastreabilidade das evidências.

4. O fluxo da informação na etapa S5: Execução e Monitoramento da Obra

4.1 Diagnóstico do Processo Atual (AS-IS)

Dos cinco processos da etapa S5 observado na figura 3, dois são de responsabilidade da empresa, que produz as informações; um é de responsabilidade do município, que fiscaliza e aprova as informações submetidas; e dois são de responsabilidade do FNDE, que monitora, aprova, libera o pagamento e supervisiona as informações relacionadas ao uso de recursos públicos.

No fluxo atual, a empresa registra medições e reúne relatórios, planilhas e fotografias, que são conferidos pelo município e inseridos no SIMEC para análise federal. Em geral, o avanço é reportado por percentuais agregados por macroserviços, com evidências dispersas e sem vínculo explícito com quantidades e custos unitários contratados. Isso tende a ampliar a interpretação manual e a subjetividade na análise, aumentar ciclos de diligência e limitar comparações consistentes entre períodos e entre obras.

4.2 O Fluxo do Processo Proposto (TO-BE)

A adoção do BIM é estratégica para mitigar os pontos críticos observados no processo atual, sobretudo na etapa de execução, onde predominam medições manuais, evidências dispersas e reporte por percentuais agregados. Ao aumentar a precisão e a consistência das informações, o BIM tende a reduzir incompatibilidades, retrabalho e ruídos de comunicação entre os agentes, com reflexos na agilidade das análises técnicas realizadas pelos municípios e pelo FNDE e na redução de ciclos de reenvio antes da liberação de recursos.

Para que esses ganhos se materializem, contudo, é indispensável organizar o fluxo de informação. A ISO 19650 fornece esse arcabouço ao estabelecer princípios, papéis, métodos e artefatos mínimos para governança informacional, como requisitos de informação do projeto (PIR), requisitos de troca da informação (EIR), plano de execução BIM (BEP) e um ambiente comum de dados (CDE) capaz de assegurar versionamento, rastreabilidade e controle de compartilhamento. A leitura da norma permitiu identificar os fluxos de trabalho (itens 5.1 a 5.8), as responsabilidades e as trocas de informação necessárias para incorporar o BIM aos processos institucionais.

Nesse contexto, o FNDE, embora não produza o conteúdo técnico das adaptações e da execução, define requisitos, aprovações e marcos vinculados ao repasse de recursos. Assim, no modelo proposto assume o papel de organizador da informação, disponibilizando um F-EIR com requisitos mínimos por fase, templates adaptáveis (EIR_Projeto e EIR_Construção) e um BEP_Exemplo para apoiar municípios com diferentes níveis de maturidade. Essas trocas são ancoradas na evolução do SIMEC para desempenhar funções típicas de CDE, com controle de versões, recepção de documento em IFC e BCF e trilhas de auditorias.

O fluxo do processo proposto, figura 4, preserva a lógica institucional (município valida e FNDE decide), mas altera como a informação de execução é produzida, verificada e registrada na etapa S5 (P18–P22), alinhando o fluxo à ISO 19650 e às exigências de rastreabilidade da Lei nº 14.133/2021, com o BIM como suporte de evidências.

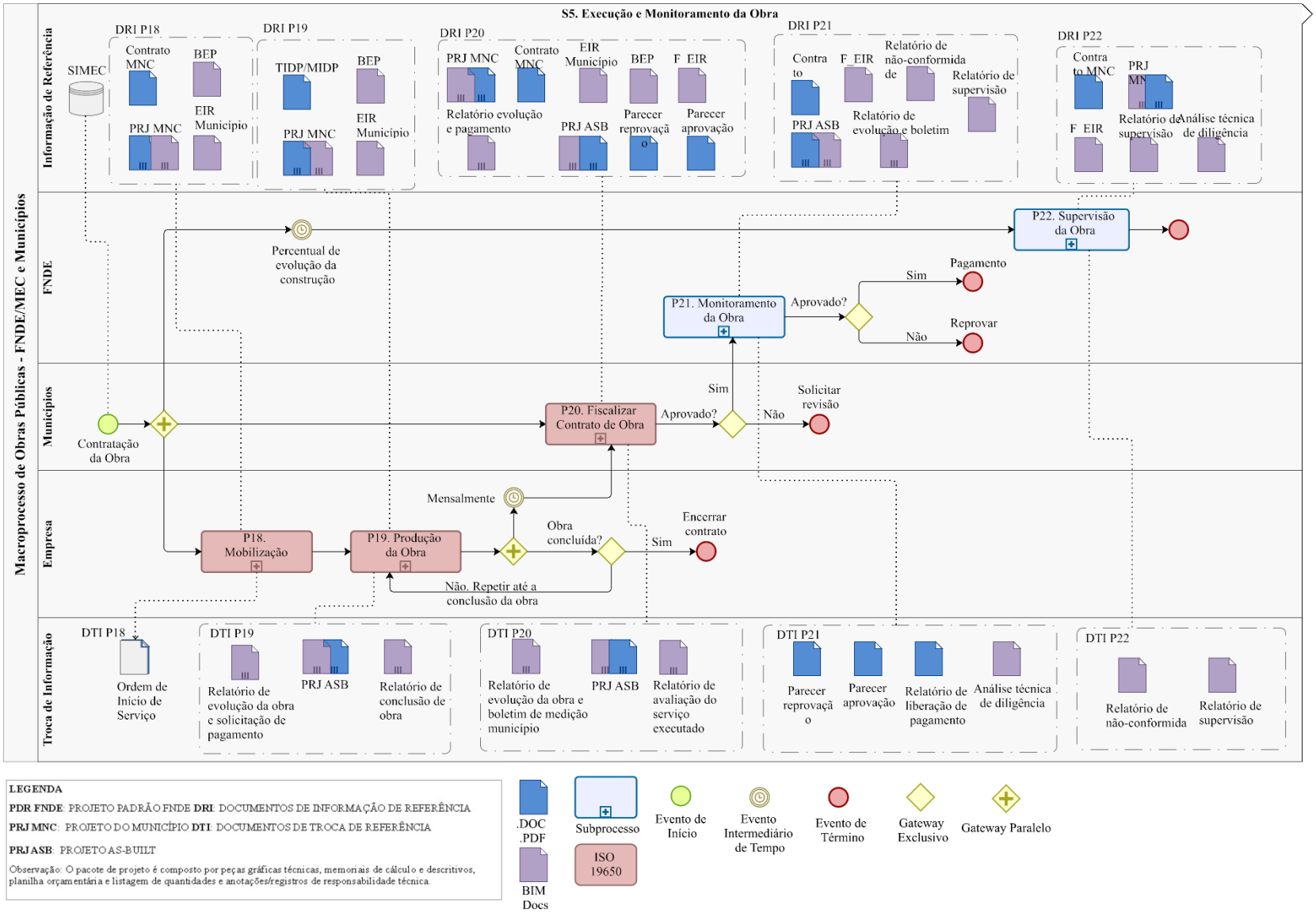


Figura 4: Fluxo de informação do processo proposto (TO-BE) na etapa S5.

Na Figura 4, as atividades destacadas em vermelho indicam os pontos do fluxo em que foram incorporados procedimentos e entregas de gestão da informação alinhados à ISO 19650-2 (por exemplo, preparação informacional, produção/entrega governada e verificação/aceitação do contêiner de informação), permitindo visualizar onde a norma altera o "como" a informação é produzida, verificada e registrada, sem modificar o encadeamento institucional de responsabilidades.

No P18 (mobilização), além da mobilização física, introduz-se a preparação informacional para a execução, com verificação de procedimentos e organização do ambiente de dados. No P19 (produção da obra), o registro do avanço físico deixa de depender exclusivamente de medições manuais e passa a ser estruturado em atualizações do modelo em formato aberto (IFC) e em registros de questões e não conformidades (BCF), permitindo associar evidências a elementos e serviços específicos e apoiar a produção colaborativa e a entrega governada da informação (itens 5.6 e 5.7 da ISO 19650-2 [9]).

No P20 (fiscalizar contrato de obra), a fiscalização municipal passa a operar como etapa explícita de verificação e aceitação do contêiner de informação, articulando F-EIR, EIR do município e BEP e formalizando correções e reenvios quando necessários, reduzindo a variabilidade do pacote encaminhado ao FNDE. No P21 (monitoramento da obra), o FNDE preserva a sequência decisória de comparar avanço físico-financeiro e tratar não conformidades, porém com suporte BIM e com evidências versionadas e rastreáveis em um ambiente comum de dados, concebido como evolução do SIMEC para funções de controle de versão, histórico de decisões e auditoria. Por fim, o P22 (supervisão da obra) reforça o controle ao sistematizar registros de não conformidades e retroalimentar a decisão federal.

Em um ciclo mensal típico, a empresa consolida o avanço e submete ao município um pacote de evidências da execução. No processo proposto, esse pacote inclui uma versão identificável do modelo (IFC) e, quando aplicável, registros de pendências e não conformidades (BCF), permitindo ao município verificar completude e consistência antes do envio. Com o contêiner validado, o FNDE realiza a comparação físico-financeira e registra a decisão com base em evidências versionadas e rastreáveis, reduzindo diligências motivadas por incompletude ou baixa padronização.

Essa organização tende a reduzir reanálises manuais no P21, diminuir diligências e devoluções, elevar a taxa de aprovação na primeira submissão (P20–P21), reduzir o tempo médio de análise no FNDE e ampliar a rastreabilidade de versões, decisões e não conformidades por meio de registro e versionamento no CDE. Estes efeitos poderão ser avaliados em aplicação futura mediante indicadores como tempo médio de análise por submissão, número de diligências por ciclo mensal, taxa de aprovação à primeira submissão e consistência físico-financeira entre períodos consecutivos.

A implementação, entretanto, depende de condições habilitadoras, como capacitação de fiscais e gestores, adequação de instrumentos contratuais para explicitar responsabilidades informacionais e evolução tecnológica do SIMEC para suportar funções típicas de CDE. Recomenda-se uma adoção incremental: iniciar pela padronização do pacote de submissão e pelo registro sistemático de versões e decisões; avançar para a verificação municipal do contêiner de informação; e, em seguida, ampliar o uso consistente de IFC/BCF e a automação parcial de verificações em apoio ao monitoramento federal. A Tabela 1 sintetiza o fluxo proposto e os ganhos esperados para o FNDE.

Tabela 1: Síntese entre o Processo Atual e o Processo Proposto

Processo	Descrição	Processo Atual	Processo Proposto	Benefícios FNDE
P18 Mobilização	Prepara o início e a produção de informação	Mobilização operacional	Mobilização informacional/tecnológica e testes (ISO 19650-2, 5.5)	Menos falhas iniciais de reporte
P19 Produção da obra	Gera a informação de avanço	Medição manual; percentuais por macroserviços; relatórios/fotos/planilhas	Avanço registrado no modelo BIM; entrega governada (ISO 5.6/5.7)	Mais consistência e rastreabilidade
P20 Fiscalizar contrato da obra	Validação municipal antes do envio	Confere avanço e evidências; solicita correções; submete ao FNDE	Verificação/aceitação do contêiner (ISO 5.7) com F-EIR/EIR/BEP	Menos diligências no FNDE
P21 Monitoramento da obra	Decisão federal	Análise documental manual; comparação físico-financeira	Evidências rastreáveis (IFC versionado + BCF); validação por F-EIR e registro de decisão	Decisões mais auditáveis e objetivas
P22 Supervisão da obra	Auditoria adicional	Conferência adicional	Relatório + questionário + registro de NC	Mais robustez e transparência

6. Conclusões

Este artigo apresentou um recorte do modelo do processo proposto para a integração entre processos, BIM, ISO 19650 e legislação brasileira na gestão de obras públicas educacionais, com foco na etapa S5 (P18–P22) e na atuação do FNDE. A análise do fluxo P18–P22 evidenciou que a organização do fluxo informacional na execução pode qualificar o monitoramento baseado em evidências e a tomada de decisão federal, e que a governança da informação (F-EIR/EIR/BEP e CDE/SIMEC), aliada ao suporte openBIM (IFC/BCF), tende a aumentar confiabilidade, rastreabilidade e auditabilidade. Ao estruturar a produção do avanço (P19), explicitar a verificação municipal (P20) e apoiar a decisão do FNDE (P21) com evidências versionadas em ambiente comum de dados, o modelo endereça gargalos observados no processo atual e fortalece o controle do acompanhamento da execução. Assim, o processo proposto para o S5 constitui um referencial aplicável para qualificar o acompanhamento de obras públicas educacionais e ampliar transparência e prestação de contas, desde que sejam enfrentados desafios de capacitação, padronização documental e suporte tecnológico.

Como limitação, o trabalho apresenta um redesenho baseado em modelagem de processos, ainda sem validação por implementação piloto em contexto real. Como trabalhos futuros, prevê-se prototipar a operacionalização do SIMEC como CDE, testar o fluxo proposto em municípios com diferentes níveis de maturidade, permitindo aferir impactos em tempo de análise, retrabalho administrativo, taxa de aprovação inicial e consistência dos registros físico-financeira.

Agradecimentos

Este trabalho foi parcialmente financiado pela FCT/MCTES através de fundos nacionais (PIDDAC) no âmbito da unidade I&D Instituto para a Sustentabilidade e Inovação em Engenharia de Estruturas (ISISE), com a referência UIDB/04029/2020 e no âmbito do Laboratório Associado de Produção Avançada e Sistemas Inteligentes ARISE com referência LA/0112/2020. É ainda parcialmente financiado pela FCT - Fundação para a Ciência e Tecnologia no âmbito do Projeto plurianual de Unidades de I&D número UIDB/00319/2020.
Este trabalho foi financiado por fundos nacionais através da FCT - Fundação para a Ciência e Tecnologia, ao abrigo do contrato de bolsa 2022.13091.BD atribuído ao 1º autor e DOI https://doi.org/10.54499/2022.13091.BD

Referências

[1] EUBIM, *Handbook for the introduction of Building Information Modelling by the European Public Sector: Strategic action for construction sector performance: driving value, innovation and growth*. Co-funded by the European Union, 2016.

[2] A. Cerezo-Narváez, A. Pastor-Fernández, M. Otero-Mateo, and P. Ballesteros-Pérez, "The Relationship between Building Agents in the Context of Integrated Project Management: A Prospective Analysis," *Buildings*, vol. 11, no. 5, p. 184, Apr. 2021, doi: 10.3390/buildings11050184.

[3] G. Bhagat and K. N. Jha, "Stage-wise evaluation of integrity risks in public works procurement in India," *International Journal of Construction Management*, vol. 23, no. 16, pp. 2818–2829, Dec. 2023, doi: 10.1080/15623599.2022.2100623.

[4] C. Eastman, Ra. Sacks, G. Lee, and P. Teicholz, *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Designers, Engineers, Contractors, and Facility Managers*, 3 ed, NJ.: Wiley, 2018.

[5] Brasil, "Lei no 14.133, de 1o de abril de 2021. Lei de Licitações e Contratos Administrativos.," Diário Oficial da União, Brasília, Brasil, Apr. 2021.

[6] ABNT, "Organização da informação acerca de trabalhos da construção-Gestão da informação usando a modelagem da informação da construção Parte 1: Conceitos e princípios". Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2022.

[7] S. Meschini, G. M. Di Giuda, L. C. Tagliabue, M. Locatelli, and L. Pellegrini, "BPMN 2.0 to redefine Italian design-bid procurement in an innovative model-based, open-source approach," in 40th International CIB W78 Conference, Crete: *International Council for Research and Innovation in Building and Construction*, Jul. 2023. doi: 10.35490/EC3.2023.327.

[8] ISO, "ISO 19510:2013. Information technology — Object Management Group Business Process Model and Notation," International Organization for Standardization (ISO), 2013.
[9] ABNT, "Organização da informação acerca de trabalhos da construção-Gestão da informação usando a modelagem da informação da construção Parte 2: Fase de entrega de ativos". Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2022.
[10] FNDE, Projetos Padronizados FNDE. Accessed:Mar. 25, 2025. Available: https://www.gov.br/fnde/pt-br/acesso-a-informacao/acoes-e-programas/programas/par.
[11] FNDE, Estratégia BIM-FNDE. Brasília: Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação, 2023.
[12] ISO, "ISO 16739-1:2024. Industry Foundation Classes (IFC) for Data Sharing in the Construction and Facility Management Industries Part 1: Data Schema," International Organization for Standardization (ISO), 2024.
[13] FNDE, "FNDE BIM." Accessed: Mar. 25, 2025. Available: https://www.gov.br/fnde/pt-br/acesso-a-informacao/acoes-e-programas/programas/par/bim-modelagem-de-informacao-na-construcao.

12345

METAMODELO PARA A CRIAÇÃO DO AIR - ASSET INFORMATION REQUIREMENTS DE UMA UNIDADE ASSISTENCIAL HOSPITALAR

Adriana Tonani, Camila Joko, Paula Mota

ptBIM

METAMODELO PARA A CRIAÇÃO DO AIR - ASSET INFORMATION REQUIREMENTS DE UMA UNIDADE ASSISTENCIAL HOSPITALAR

Adriana Tonani[(1)], Camila Joko[(2)], Paula Mota[(3)]

(1) UFMG, Belo Horizonte, 0009-0008-1543-4692
(2) SIPPRO, São Paulo, 0009-0004-7043-1225
(3) SIPPRO, Birmingham, 0000-0001-7559-8455

Resumo

Os processos de manutenção e operação hospitalares demandam uma gestão robusta de dados sobre as infraestruturas físicas e os equipamentos médicos que compõem a unidade assistencial. A sistematização dessas informações é essencial para organizar um processo naturalmente complexo, orientado por critérios técnicos previamente definidos. Nesse contexto, a adoção do BIM como repositório central de dados dos ativos hospitalares constitui uma base estruturante capaz de abranger essa complexidade e de apoiar uma compreensão sistêmica da realidade construtiva e operacional. Este artigo tem como objetivo propor um metamodelo orientador para a futura elaboração dos Requisitos de Informação de Ativos (AIR – *Asset Information Requirements*), que serão utilizados na gestão dos ativos hospitalares quando a instituição estiver plenamente em operação. Para isso, delineou-se o processo de construção de uma avaliação multicritério destinada ao registro das informações qualitativas e quantitativas necessárias à gestão dos ativos. Além disso, buscou-se identificar o contexto decisório, caracterizar a demanda, mapear os agentes envolvidos na definição dos parâmetros e classificar as tipologias de informação que comporiam o metamodelo. Como resultado, foi desenvolvido um metamodelo de AIR estruturado, sustentável e replicável, capaz de orientar futuros trabalhos e ampliar as possibilidades de aplicação do BIM na operação e manutenção de unidades hospitalares.

1. Introdução

O conceito de que as unidades assistenciais hospitalares demandam uma gestão eficiente dos processos de manutenção e operação para oferecerem alta qualidade de atendimento aos pacientes não é recente. Em seu livro, Manutenção e segurança hospitalar preditivas [1], Karman discorre sobre a complexidade hospitalar, explicitando que ela está presente não somente na arquitetura das unidades, mas também em suas infraestruturas físicas e nos equipamentos. Na ocorrência de falhas de operação no funcionamento de algum ativo

hospitalar, seja na infraestrutura ou nos equipamentos, as consequências podem causar danos irreversíveis à vida das pessoas.
Além disso, com o desenvolvimento extraordinário ocorrido nos últimos anos nas tecnologias diagnósticas e de tratamentos aplicados à medicina, o número de tipologias de infraestruturas físicas e de novos equipamentos médicos cresceu substancialmente, exigindo das equipes de operação e manutenção um aumento de capacidade técnica e gerencial para dar conta de administrar as diversas demandas que surgiram como consequência destes avanços científicos.
Não por acaso, a Agência Nacional de Vigilância Sanitária tem publicado, a partir da Resolução da diretoria colegiada - RDC50, de 21/02/2002 [2], uma série de outras resoluções e manuais técnicos, a fim de esclarecer e nortear arquitetos, engenheiros e demais profissionais envolvidos em projetos, construções e operações de hospitais, sobre as características físicas, operacionais e de tecnovigilância [3], e assim, de melhorar as qualidades ambientais e os desempenhos de funcionamento das unidades assistenciais de saúde.
O entendimento dessas características especializadas dos hospitais levou ao surgimento, inclusive, de novas categorias profissionais dentro das instituições, como a dos engenheiros clínicos, responsáveis por gerir os equipamentos de saúde com eficiência e segurança [4].
Dentro deste cenário, a contribuição que o *Building Information Modelling* (BIM) oferece é a de fornecer uma estratégia para organizar os dados qualitativos e quantitativos, tanto sobre as infraestruturas físicas necessárias ao funcionamento dos ambientes, quanto dos equipamentos médicos para disponibilizá-los nos sistemas de manutenção e operação dos hospitais, de maneira dinâmica e contínua.
A norma ABNT NBR 19650-1 [5] estabelece a importância da criação dos Requisitos de Informação de Ativos (AIR) para garantir que os dados essenciais a serem preservados para a fase de operação e manutenção das edificações sejam identificados e armazenados no modelo, servindo como um extenso repositório de dados para os sistemas de gestão de *facilities.* Entretanto, a configuração ótima para o seu desenvolvimento não é definida pela norma, podendo variar de acordo com a alta gestão dos empreendimentos, das necessidades cotidianas de operação, da criticidade dos ativos e de outros fatores específicos de cada instituição.
Assim, o estabelecimento de um metamodelo referencial que sirva de base para a elaboração do AIR específico para a operação e manutenção hospitalar é fundamental para que se consiga mapear e selecionar os dados essenciais ao seu gerenciamento. De acordo com Lima [6], o metamodelo é o delineamento de um processo que incorpora a construção de um modelo de avaliação multicritério como recurso para compatibilizar multidesempenhos.
O objetivo deste artigo é a demonstração de um metamodelo criado para servir de orientação para elaboração do AIR com o foco em unidades hospitalares, utilizando-se de uma demanda de uma instituição específica como fonte de dados, geradora do estabelecimento de requisitos e indutora da motivação para a pesquisa ora apresentada.

2. Metodologia

A metodologia adotada e adaptada para a criação do metamodelo do AIR possuiu caráter exploratório, no qual foram aplicadas as seguintes etapas: (i) levantamento bibliográfico; (ii) pesquisa documental em base de dados hospitalares; (iii) entrevistas com agentes envolvidos no processo de operação e manutenção; (iv) determinação do recorte de objetos que representem ativos de manutenção predial e de equipamentos clínicos; (v) organização dos

dados, e (vi) análise e interpretação dos dados [7]. Para a etapa (i), o levantamento bibliográfico foi buscado em fontes em livros, dissertações, teses e normas técnicas como as desenvolvidas pela Organização Internacional de Normalização e a *British Standards Institution*. Os principais artigos e normas técnicas usados como referência neste artigo foram: [1], [2], [3], [5], [6], [8] e [9]. Já na etapa (ii), a base de dados analisada foi do novo Hospital Sabará, da Fundação José Luis Setúbal, em São Paulo - Brasil, sendo disponibilizado pela equipe de manutenção do próprio hospital. Na etapa (iii) ocorreram as entrevistas no qual foram feitas remotamente, através de reuniões pela plataforma Microsoft Teams e envolveu o departamento de manutenção predial e equipamentos clínicos, gerência do hospital, arquitetos e gerentes BIM. Na etapa (iv), o recorte foi feito junto com a equipe do hospital e resultou na lista final de ativos a serem geridos. Por fim, as etapas (v) e (vi) serviram de base para desenvolver e validar um metamodelo orientador para a definição do AIR no contexto da operação e manutenção hospitalar.

3. Desenvolvimento

O fluxo a seguir, apresentado na Figura1, mostra as atividades executadas para o desenvolvimento do metamodelo do AIR, focado especialmente das etapas (v) e (vi) das etapas da metodologia.

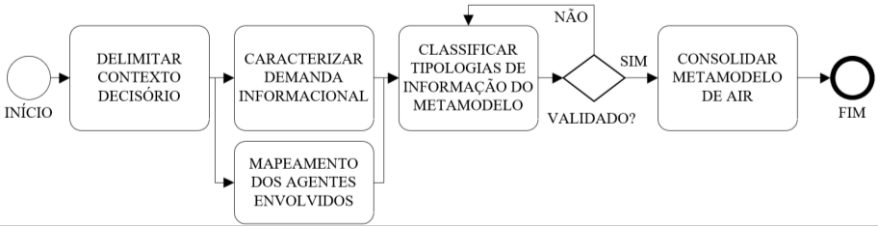


Figura 1: Fluxo de atividades desenvolvidas.

Inicialmente, realizou-se a delimitação do contexto decisório, considerando as particularidades da gestão de ativos em ambientes hospitalares. Nesta etapa, buscou-se compreender o papel do BIM enquanto repositório central de informações dos ativos, bem como sua interface com os processos de manutenção e operação ao longo do ciclo de vida da edificação.
Na sequência, procedeu-se à caracterização da demanda informacional, a partir da identificação das informações quantitativas, como a listagem de ativos a serem geridos, e qualitativas, como os dados essenciais de especificidades dos ativos listados na quantificação prévia, necessárias para apoiar a tomada de decisão na fase operacional. Para isso, foram analisadas as necessidades típicas associadas à manutenção predial e à gestão de equipamentos médicos, considerando critérios técnicos, funcionais e de rastreabilidade da informação. Essa atividade permitiu estabelecer as bases para a construção de uma avaliação multicritério, orientada ao registro e à organização sistemática dos dados dos ativos. Paralelamente, foi realizado o mapeamento dos agentes envolvidos na definição e no uso das informações dos ativos. A partir dessa identificação, buscou-se compreender as diferentes responsabilidades, níveis de decisão e expectativas informacionais, de modo a assegurar que o metamodelo proposto contemplasse múltiplos requisitos ao longo da operação hospitalar. Com base nas atividades anteriores, desenvolveu-se a classificação das tipologias de informação que comporiam o metamodelo de

AIR, organizando-as segundo categorias coerentes com a gestão de ativos hospitalares. Essa estruturação considerou aspectos como natureza da informação, responsáveis pela inserção dos dados e relação com os sistemas físicos e equipamentos modelados em BIM. Por fim, os resultados obtidos foram analisados de forma crítica, permitindo a consolidação de uma proposta estruturada, sustentável e replicável.

4. Resultados

A determinação do recorte de objetos que representassem os ativos de manutenção predial e os equipamentos clínicos hospitalares resultou em uma lista estruturada e representativa da complexidade operacional da unidade assistencial. Esse processo considerou critérios técnicos relacionados à criticidade assistencial, à recorrência de manutenção, ao impacto na continuidade dos serviços de saúde e à diversidade funcional dos ativos, abrangendo desde equipamentos de alta complexidade tecnológica até itens de suporte clínico e operacional. A consolidação desse recorte permitiu identificar um conjunto heterogêneo de ativos, com diferentes classificações de requisitos de manutenção. Equipamentos classificados como "Ativo" são considerados de manutenção urgente e, portanto, ativos a serem monitorados pelo modelo FM. Já equipamentos classificados como "Manutenção esporádica" não representam urgência e podem seguir na escala de manutenções programadas pelo sistema ordinário do setor de manutenção. A Figura 2 apresentada ilustra um trecho dessa listagem no âmbito da disciplina de equipamentos clínicos hospitalares, evidenciando a variedade de tipologias, quantidades e características funcionais consideradas, as quais fundamentaram a construção do metamodelo de AIR ao garantir aderência às demandas reais da gestão de operação e manutenção.

ATIVO	MANUTENÇÃO ESPORÁDICA	DESCRIÇÃO	QUANTIDADE
Sim	Não	Aparelho de Anestesia - Alta Complexidade	19
Sim	Não	Aparelho de Hemodinâmica Detector 30x39	1
Sim	Não	Aparelho de Raio-X Fixo Digital	2
Sim	Não	Aparelho de Raio-X Móvel	83
Sim	Não	Aparelho de Raio-X Telecomandado	1
Sim	Não	Arco Cirúrgico - Parte 1	7
Sim	Não	Arco Cirúrgico - Parte 2	7
Sim	Não	Armário para Guarda de Endoscópios Seis Tubos	2
Sim	Não	Autoclave Peróxido	2
Sim	Não	Autoclave Steelco VS8-2	4
Sim	Não	Balão Intraórtico	2
Sim	Não	Bisturi Elétrico Padrão	25
Sim	Não	Bisturi Ultrassônico	2
Sim	Não	Bomba Injetora de Contraste Para Hemodinâmica Cabeça Única	3
Sim	Não	Cabine de Segurança Biológica Classe II A1	2
Sim	Não	Cabine de Segurança Biológica Classe II B2	7
Sim	Não	Cama Hospitalar Elétrica	64
Não	Sim	Agitador de plaquetas	1
Não	Sim	Aquecedor de gel	3
Não	Sim	Aquecedor de soluções	22
Não	Sim	Balança de Piso	1
Não	Sim	Banco de baterias	3
Não	Sim	Banho maria	2
Não	Sim	Cabine audiométrica padrão	1
Não	Sim	Cama Acompanhante	57
Não	Sim	Carrinho Beira Leito	80
Não	Sim	Carro Termodesinfectante	14
Não	Sim	Filtros dos Cilindros da Osmose Reversa	5
Não	Sim	Monitor de Óxido Nitrico	80

Figura 2: Exemplo da lista de ativos de equipamentos clínicos hospitalares.

A construção do metamodelo de AIR foi realizada com base na Norma Britânica BS PAS 8210:2020 [8] e Mota, 2017 [9], articulando referenciais teóricos consolidados com evidências empíricas extraídas da experiência de profissionais das áreas operação e manutenção hospitalar. Inicialmente, procedeu-se à definição das propriedades informacionais a serem consideradas, conforme apresentado no Quadro 1, contemplando atributos técnicos, funcionais, espaciais, administrativos e operacionais dos ativos. Esse conjunto de propriedades foi estruturado de modo a assegurar a rastreabilidade dos ativos ao longo de seu ciclo de vida, bem como indicar a importância das informações a serem mapeadas desde a elaboração do modelo BIM.

Quadro 1: Propriedades informacionais a serem mapeadas no metamodelo

Id	Propriedades informacionais a serem mapeadas no metamodelo	Tipo
01	Alerta de estado de condição	Funcional
02	Ambiente localizado	Espacial
03	Ativo crítico para a organização	Operacional
04	Ativo próprio	Administrativo
05	Codificação completa do item objeto	Administrativo
06	Codificação do tipo do objeto	Administrativo
07	Data de aquisição	Administrativo
08	Data de comissionamento	Administrativo
09	Dimensão	Técnico
10	Discriminação	Técnico
11	Expectativa de vida útil	Técnico
12	Fabricante	Técnico
13	Fotografia	Técnico
14	Modelo	Técnico
15	Número de série	Administrativo
16	Pavimento localizado	Espacial
17	Processos e procedimentos (POP)	Operacional
18	Tipo do objeto	Técnico

Na sequência, foi elaborada a caracterização dessas propriedades informacionais por meio de uma matriz de informação, apresentada no Quadro 2, na qual cada propriedade foi detalhada quanto à sua aplicabilidade, natureza (tipo ou instância), tipo de dado, fase e responsabilidade de inserção, além de sua correspondência com as tabelas e colunas do padrão COBie. O COBie (*Construction-Operations Building Information Exchange*) é uma especificação que organiza de forma padronizada os dados necessários para a gestão, operação e manutenção de ativos, reunindo informações de espaços, produtos, equipamentos, *as-built* e comissionamento. Essa

etapa permitiu estruturar o metamodelo de forma coerente, interoperável e alinhada às práticas de gestão de ativos baseadas em BIM, garantindo consistência semântica, clareza na governança da informação e viabilidade de integração com sistemas de gestão da manutenção e operação hospitalar.

Quadro 2: Detalhamento das características de cada propriedade inseridas no modelo BIM

Id	Características das propriedades informacionais	Exemplo de Informação resposta do metamodelo
01	Propriedade informacional a ser mapeada	TIPO DO OBJETO
02	Aplicável para ativo	NÃO
03	Aplicável manutenção esporádica	SIM
04	Nome da propriedade	FM_TIPOLOGIA_OBJETO
05	Propriedade de tipo ou instância	TIPO
06	Tipo do dado da informação da propriedade	TEXTO
07	Fase de inserção da propriedade	CONSTRUÇÃO
08	Responsável pela inserção da propriedade	CONSTRUTORA
09	Fase de inserção da informação	CONSTRUÇÃO
10	Responsável pela inserção da informação	CONSTRUTORA
11	Tabela COBie de exportação da informação	TYPE
12	Coluna da Tabela COBie de exportação	NAME
13	Denominação do ativo	AGITADOR_DE_PLAQUETAS

As Figuras 3 e 4 apresentam o metamodelo do AIR consolidado, estruturado na forma de uma matriz informacional. Para fins de legibilidade e melhor compreensão no contexto do artigo, o metamodelo foi dividido em duas figuras complementares, sem prejuízo de sua integridade conceitual ou funcional. Essa representação permite visualizar de maneira organizada as propriedades informacionais, suas características e relações, evidenciando a lógica de estruturação do metamodelo e sua aplicabilidade ao suporte à gestão da operação e manutenção hospitalar. Já a Figura 5 apresenta um exemplo da inserção das propriedades em um objeto BIM no intuito de exemplificar para os agentes o processo de aplicação do AIR nos modelos hospitalares.

INFORMAÇÃO	APLICÁVEL PARA ATIVO	APLICÁVEL PARA MAN. ESPORÁDICA	NOME PARÂMETRO	PARÂMETRO DE TIPO OU INSTÂNCIA	TIPO DO PARÂMETRO	FASE INSERÇÃO PARÂMETRO	RESPONSÁVEL INSERÇÃO PARÂMETRO
Alerta de estado de condição?	SIM	NÃO	FM_ALERTA_CONDICAO	INSTÂNCIA	SIM/NÃO	CONSTRUÇÃO	CONSTRUTORA
Ambiente localizado	SIM	SIM	FM_AMBIENTE	INSTÂNCIA	TEXTO	CONSTRUÇÃO	CONSTRUTORA
Ativo crítico para a organização?	SIM	NÃO	FM_CRITICO	TIPO	SIM/NÃO	CONSTRUÇÃO	CONSTRUTORA
Ativo é próprio?	SIM	SIM	FM_PROPRIO	INSTÂNCIA	SIM/NÃO	CONSTRUÇÃO	CONSTRUTORA
Codificação completa do item objeto	SIM	SIM	FM_IDENTIFICACAO	INSTÂNCIA	TEXTO	CONSTRUÇÃO	CONSTRUTORA
Codificação do tipo do objeto	SIM	SIM	KEYNOTE	TIPO	NATIVO	CONSTRUÇÃO	CONSTRUTORA
Data de aquisição	SIM	SIM	FM_AQUISICAO	INSTÂNCIA	TEXTO	CONSTRUÇÃO	CONSTRUTORA
Data de comissionamento	SIM	SIM	FM_COMISSIONAMENTO	INSTÂNCIA	TEXTO	CONSTRUÇÃO	CONSTRUTORA
Dimensão	SIM	SIM	FM_DIMENSAO	TIPO	TEXTO	CONSTRUÇÃO	CONSTRUTORA
Discriminação	SIM	SIM	FM_DESCRICAO	TIPO	TEXTO	CONSTRUÇÃO	CONSTRUTORA
Expectativa de vida útil	SIM	SIM	FM_VIDA _UTIL	TIPO	TEXTO	CONSTRUÇÃO	CONSTRUTORA
Fabricante	SIM	SIM	FM_FABRICANTE	TIPO	TEXTO	CONSTRUÇÃO	CONSTRUTORA
Fotografia	SIM	SIM	FM_FOTOGRAFIA	TIPO	IMAGEM	CONSTRUÇÃO	CONSTRUTORA
Modelo	SIM	SIM	FM_MODELO	TIPO	TEXTO	CONSTRUÇÃO	CONSTRUTORA
Número de série	SIM	SIM	FM_SERIE	INSTÂNCIA	INTEIRO	CONSTRUÇÃO	CONSTRUTORA
Pavimento localizado	SIM	SIM	NIVEL	INSTÂNCIA	NATIVO	CONSTRUÇÃO	CONSTRUTORA
Processos e procedimentos (POP)	SIM	SIM	FM_POP	TIPO	URL	CONSTRUÇÃO	CONSTRUTORA
Tipo do objeto	SIM	SIM	FM_TIPOLOGIA_OBJETO	TIPO	TEXTO	CONSTRUÇÃO	CONSTRUTORA

Figura 3: Metamodelo do Requisitos de Informação de Ativos (AIR) – parte 1

INFORMAÇÃO	FASE INSERÇÃO INFORMAÇÃO	RESPONSÁVEL INSERÇÃO INFORMAÇÃO	TABELA COBie	EXPORTAÇÃO COBie	EXEMPLO INFO.
Alerta de estado de condição?	OPERAÇÃO	MANUTENÇÃO	Attributes	AletaCondicao	CHECK BOX
Ambiente localizado	CONSTRUÇÃO	CONSTRUTORA	Component	Space	XXXXXXXXXX_XXXXXX | LEITO_01
Ativo crítico para a organização?	AQUISIÇÃO	MANUTENÇÃO	Type	AssetType	CHECK BOX
Ativo é próprio?	AQUISIÇÃO	MANUTENÇÃO	Attributes	AtivoProprio	CHECK BOX
Codificação completa do item objeto	AQUISIÇÃO	MANUTENÇÃO	Component	AssetIdentifier	A SER DEFINIDO PELO CLIENTE POSTERIORMENTE
Codificação do tipo do objeto	AQUISIÇÃO	MANUTENÇÃO	Attributes	CodigoObjeto	A SER DEFINIDO PELO CLIENTE POSTERIORMENTE
Data de aquisição	CONSTRUÇÃO	CONSTRUTORA	Attributes	DataAquisicao	AAAA_MM_DD
Data de comissionamento	CONSTRUÇÃO	CONSTRUTORA	Component	InstallationDate	AAAA_MM_DD
Dimensão	CONSTRUÇÃO	CONSTRUTORA	Type	NominalLength/ NominalWidth/ NominalHeight	00,00x00,00x00,00_M | COMPRIMENTOxPROFUNDIDADExALTURA_UNIDADE DE MEDIDA
Discriminação	CONSTRUÇÃO	CONSTRUTORA	Type	Description	XXXXXXXXX
Expectativa de vida útil	AQUISIÇÃO	MANUTENÇÃO	Type	ExpectedLife/ DurationUnity	000_MESES
Fabricante	CONSTRUÇÃO	CONSTRUTORA	Type	Manufacturer	XXXXXXXXX
Fotografia	CONSTRUÇÃO	CONSTRUTORA	Type	Features	JPG
Modelo	CONSTRUÇÃO	CONSTRUTORA	Type	ModelNumber	XXXXXXXXX
Número de série	CONSTRUÇÃO	CONSTRUTORA	Component	SerialNumber	0000000000
Pavimento localizado	CONSTRUÇÃO	CONSTRUTORA	Attributes	Pavimento	XXXXXXXXX
Processos e procedimentos (POP)	AQUISIÇÃO	MANUTENÇÃO	Type	ModelReference	URL DO ARQUIVO NO REPOSITORIO DO SISTEMA
Tipo do objeto	CONSTRUÇÃO	CONSTRUTORA	Type	Name	XXXXX_XXXXX | AGITADOR_DE_PLAQUETAS

Figura 4: Metamodelo do Requisitos de Informação de Ativos (AIR) – parte 2

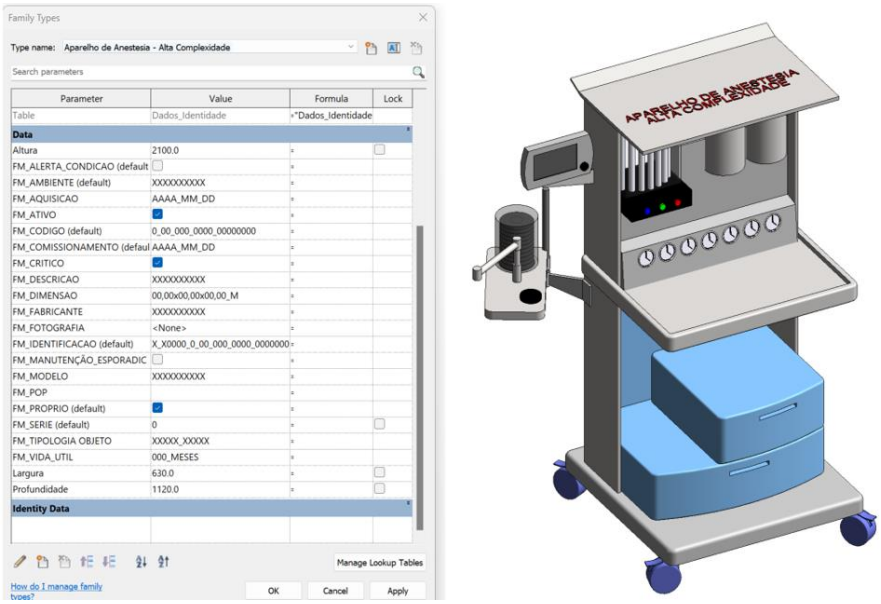


Figura 5: Exemplo de aplicação da matriz de informação solicitada no AIR em um objeto BIM.

5. Discussão

Na construção do metamodelo do AIR, observou-se que existem quatro condicionantes que devem ser considerados ao início de sua proposição, pois impactam na maneira de organizar e caracterizar os dados a serem armazenados para que sua aplicação tenha um bom resultado:

- A identificação do sistema FM que irá receber as informações do modelo, pois existem características específicas dos sistemas que podem impactar no número de caracteres dos parâmetros aplicados aos ativos no modelo.
- A partir da escolha do sistema FM, torna-se necessário estudar-se a forma como as informações serão trocadas, se de maneira direta com a integração entre o modelo e o sistema FM de forma nativa, ou de maneira indireta, por meio de uma interface de programação de aplicações (API) ou utilizando-se do padrão COBie.
- A participação dos usuários na seleção dos ativos a serem geridos, com base na sua criticidade de desempenho dentro da estrutura organizacional e/ou seu valor agregado. Essa seleção é de muita importância para que suas informações qualitativas e quantitativas sejam exatas e suficientes para a fase de operação e manutenção.
- Após a seleção dos ativos, a participação dos usuários na identificação e seleção de seus parâmetros de informação a serem armazenados no modelo é fundamental, para que as informações sejam suficientes para a sua gestão, e não excessivas, evitando-se que quantidade de dados não impacte no tamanho do arquivo a ser gerido em BIM.

O atendimento a esses condicionantes é de grande relevância para que o metamodelo do AIR atenda com eficácia ao seu objetivo final e pode ser entendido como uma boa prática no processo mapeado.

Quanto às limitações e desafios de implementação do metamodelo do AIR, observou-se os seguintes aspectos:

- A maioria dos sistemas FM são desenvolvidos para o atendimento de quaisquer tipologias de edificações, e não contam com registros de especificidades características de ativos hospitalares, sendo necessária à sua adaptação. O metamodelo deverá considerar este fator e identificar, à priori, quais serão as potencialidades dos sistemas FM selecionados para a implementação, capazes de atender às informações qualificadas que comporão o AIR.
- A correta alimentação de dados definidos no metamodelo do AIR dependerá da precisão e da cronologia de sua inserção no modelo BIM, a ser seguida pelas partes interessadas. A falha nesse processo poderá comprometer a efetividade do metamodelo do AIR e o desempenho futuro da implementação da gestão dos ativos.

O metamodelo do AIR apresentado ainda está em fase de proposição. A efetivação de aplicação do AIR acontecerá assim que definido o Sistema FM para a gestão de ativos do Hospital Sabará. As métricas para a medição da eficiência da gestão de ativos e da qualidade da informação, bem como evidências sobre o impacto do metamodelo serão objeto de nova investigação e disseminação futura dos resultados apurados.

6. Considerações finais

O metamodelo do AIR desenvolvido baseia-se na seleção de informações definidas pela equipe de manutenção e pela alta gestão do hospital, considerando a experiência administrativa da instituição existente. Ao longo da implantação na nova unidade assistencial, novas necessidades informacionais poderão surgir, implicando ajustes no método proposto. Isso ocorre porque o metamodelo não se configura como um produto fechado, mas como uma estrutura metodológica flexível e passível de evolução.

A implementação do AIR no modelo BIM e sua utilização na operação e manutenção do novo hospital exigirão o treinamento da equipe, de modo a garantir a continuidade e a consistência no registro das informações frente a eventuais alterações nos sistemas geridos.

A metodologia adotada permitiu não apenas a validação conceitual do metamodelo, mas também evidenciou seu potencial como instrumento orientador para aplicações futuras do BIM na operação e manutenção, tanto em unidades hospitalares quanto em outras tipologias de edificações.

Agradecimentos

Agradecimento ao Programa de Pós-graduação da Universidade Federal de Minas Gerais - NPGAU - através do qual o presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001, e agradecimento à SIPPRO Engenharia e à Fundação José Luis Setúbal pela oportunidade de compartilhamento de pesquisas e experiências aplicadas em cases reais.

Referências

[1] J. Karman, *Manutenção e segurança hospitalar preditivas.* São Paulo: Estação Liberdade, IPH, 2011.

[2] Brasil. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. *Resolução da Diretoria Colegiada – RDC Nº 50, de 21 de fevereiro de 2002.* Dispõe sobre o Regulamento Técnico para planejamento, programação, elaboração e avaliação de projetos físicos de estabelecimentos assistenciais de saúde. - Brasília: Agência Nacional de Vigilância Sanitária, 2002. 1046 p. : il. Accessed January 15, 2026, https://anvisalegis.datalegis.net/action/UrlPublicasAction.php?acao=abrirAtoPublico&nun_ato=00000050&sgl_tipo=RDC&sgl_orgao=RDC/DC/ANVISA/MS&vlr_ano=2002&sse_ato=002&cod_modulo=310&cod_menu=9434.

[3] Brasil. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. *Manual de tecnovigilância: uma abordagem sob a ótica da vigilância sanitária*. Gerência-Geral de Monitoramento de Produtos Sujeitos à Vigilância Sanitária, Gerência de Tecnovigilância. – Brasília : Agência Nacional de Vigilância Sanitária, 2021. 1046 p. : il, accessed January 15, 2026, http://bibliotecadigital.anvisa.gov.br/jspui/handle/anvisa/1184.

[4] ABECLIN – *Associação Brasileira de Engenharia Clínica,* accessed January 15, 2026, https://abeclin.org.br/.

[5] ABNT NBR ISO 19650-1, "ABNT NBR ISO 19650-1: 2022 Organização e digitalização de informações sobre edificações e engenharia civil incluindo modelagem da informação da construção (BIM) — Gestão da informação usando modelagem da informação da construção — Parte 1: Conceitos e princípios," Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), 2022.

[6] M. M. X., Lima, "Metamodelo para integração de multidesempenhos em projeto de arquitetura," Tese de Doutorado, Universidade Estadual de Campinas, 2016.

[7] A. C. Gil, *Como elaborar projetos de pesquisa*, 4th ed. São Paulo: Atlas, 2002.

[8] BS 8210, "BS 8210:2020 Facilities maintenance management — Code of practice." British Standards Institution (BSI), 2020.

[9] P. P. Mota, "Modelo BIM para gestão de ativos," Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Campinas, 2017.

12345

DA COORDENAÇÃO DIGITAL À COLABORAÇÃO INTEGRADA: CASO DE ESTUDO DA CONSTRUÇÃO DA NOVA SEDE DA CGD

Pedro Ferreirinha, Charles Weinfortner, Sébastien Roux, André Janeiro, Maria Antunes, Jorge Madeira

ptBIM

DA COORDENAÇÃO DIGITAL À COLABORAÇÃO INTEGRADA: CASO DE ESTUDO DA CONSTRUÇÃO DA NOVA SEDE DA CGD

Pedro Ferreirinha [(1)], Charles Weinfortner [(1)], Sébastien Roux [(2)], André Janeiro [(2)], Maria Antunes [(3)], Jorge Madeira [(4)]

(1) HCI Construções, S.A., Lisboa
(2) Limsen Consulting, Lisboa
(3) Openbook, Lisboa
(4) Caixa Geral Depósitos, Lisboa

Resumo
A colaboração entre todos os intervenientes num projeto de construção é um dos pilares fundamentais para o sucesso da implementação da metodologia BIM. O desenvolvimento do artigo irá apresentar o caso de estudo da obra da nova sede da Caixa Geral de Depósitos, que ilustra a colaboração efetiva entre o Dono de Obra, as equipas Projetistas, a gestão BIM, o Empreiteiro, os Subempreiteiros e a Fiscalização, suportada por um ambiente comum de dados (CDE) partilhado.
O processo colaborativo foi estruturado com base na utilização contínua dos modelos BIM por todas as partes envolvidas, seguindo princípios previamente definidos que procuraram potenciar a simultaneidade e a fácil identificação dos vários contributos, na centralização da informação no CDE e na realização de reuniões BIM quinzenais para alinhamento e resolução de problemas. Esta dinâmica permitiu melhorar a comunicação, antecipar conflitos e promover uma maior transparência no fluxo de informação.
Este caso de estudo demonstra como uma abordagem colaborativa e integrada, suportada por ferramentas digitais e metodologias BIM, contribuem para um processo construtivo mais eficiente e coordenado.

1. Introdução

Em 2016, no Reino Unido, foi tornado obrigatório o uso do BIM para todos os projetos de construção financiados pelo governo. A estratégia, chamada "Digital Built Britain" previa vários níveis de maturidade, sendo que seria implementado o "BIM Level 2" em 2016 e que se previa alcançar o "BIM Level 3" num futuro próximo [1]. Mais tarde estes conceitos foram revistos, nomeadamente com a publicação da ISO 19650 [2] [3]. No entanto o conceito de trabalho colaborativo num mesmo modelo na cloud continua ainda a ser visto como o Santo Graal do BIM. Apesar de não ser possível chamar de "Level 3" a colaboração em curso no

projeto de construção da nova sede da Caixa Geral de Depósitos, podemos olhar para os processos implementados como uma forma de repensar o trabalho em equipa em projetos imobiliários.

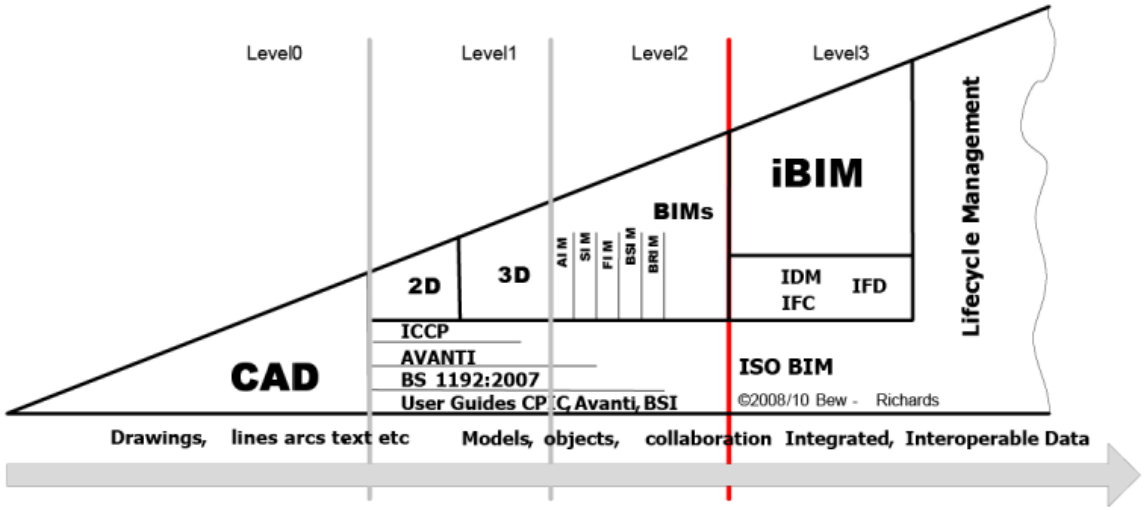


Figura 1: Níveis de maturidade BIM

1.1. Enquadramento

A nova sede da CGD, no Parque das Nações, consistiu numa intervenção de grande escala de Core & Shell e Fit-out para um edifício de escritórios, orientado para certificações LEED [4] e WELL Platinium, combinando identidade corporativa, integração urbana e soluções de trabalho flexível assentes em critérios de sustentabilidade e bem-estar.

Em termos de gestão digital, o projeto assumiu particular relevância pela sobreposição temporal entre Core & Shell e Fit-out, uma vez que a conclusão do edifício-base ocorreu cerca de seis meses após a entrega do projeto de execução de Fit-out. Esta condição exigiu uma estratégia BIM focada na redução de risco, permitindo que o Fit-out evoluísse com base em informação progressivamente consolidada, acompanhando a obra sem comprometer o seu desenvolvimento.

A implementação de um Common Data Environment (CDE) foi central neste processo, garantindo organização, validação e publicação estruturada da informação. Os modelos de obra do Core & Shell foram integrados no Fit-out através de ligações controladas, assegurando coerência e estabilidade num edifício de grande dimensão ainda em evolução. A coordenação assentou em partilhas periódicas e na incorporação faseada do modelo "bom para obra", complementada por estratégias de modelação, como a utilização de worksets dedicados, que permitiram compatibilizar o controlo do Core & Shell com a flexibilidade operacional necessária ao Fit-out.

Para execução das empreitadas Core & Shell e Fit-out, foi constituído um consorcio composto por construtoras de referência nacionais.

1.2. Contratação BIM da equipa

A CGD reconheceu desde a fase de projeto os benefícios do BIM na coordenação, controlo e fiabilidade da informação, resultantes da integração de todas as especialidades num ambiente comum. Como reflexo desta consciência de globalidade e coordenação, o Cliente solicitou um levantamento por nuvem de pontos no final da obra de Core & Shell, de forma obter uma base sólida da realidade construída e o melhor ponto de partida para a fase que se seguiu.

A possibilidade de extrair informação estruturada dos modelos, emitir peças desenhadas consistentes e partilhar modelos 3D de forma ágil revelou-se determinante face à escala e complexidade do projeto, tornando o processo mais acessível ao próprio cliente. Com base nesta experiência, a CGD decidiu estender a abordagem BIM à fase de obra, adotando um processo colaborativo, com partilha regular, validação e traçabilidade da informação, e preparando um sólido enquadramento para um handover final dos modelos orientados para a gestão interna do ativo.

2. Estado da arte

2.1. Descrição

A metodologia BIM assenta no princípio da colaboração entre os diversos intervenientes ao longo das fases de projeto, construção e operação do ativo, promovendo a introdução e atualização de informação em ambientes de dados centralizados [5]. Contudo, a prática corrente evidencia ainda a existência de ruturas no fluxo de informação entre as fases de projeto e obra, bem como entre a fase de construção e a subsequente gestão e manutenção do ativo.

Estas descontinuidades resultam, em grande medida, da transferência dos modelos digitais entre projetistas e empreiteiros, processo que frequentemente implica a criação de modelos independentes para suporte à execução da obra. Como consequência, sempre que ocorrem alterações de projeto, nem sempre é possível assegurar a atualização consistente dos modelos utilizados em fase de construção, conduzindo à coexistência de modelos distintos que deixam de refletir a realidade da obra em curso.

2.2. Lacunas do processo "Level 2”

Projetos corporativos de Fit-out de grande escala caracterizam-se por um programa altamente dinâmico, com alterações frequentes ao longo do projeto e da obra, exigindo a participação ativa dos projetistas também em fase de construção. São processos marcados por ritmos de execução muito elevados, associados a prazos exigentes, onde velocidade e complexidade tornam a coordenação e a cooperação determinantes para o sucesso.

Este cenário implica, muitas vezes, a duplicação de esforços de modelação e de produção de informação por parte do empreiteiro e dos projetistas, em vez de assegurar a continuidade do trabalho desenvolvido pelas equipas em fase de projeto. Perante esta realidade, é comum os projetistas continuarem a fazer ajustes de projeto enquanto as entidades executantes trabalham os seus modelos de obra, funcionando cada frente numa espécie de ciclo fechado. Tal situação potência o risco de perda ou inconsistência de informação, gera retrabalho e introduz ineficiências que se refletem no desempenho global do processo construtivo.

2.3. Vantagens: risco reduzido na responsabilidade

Este processo é provavelmente utilizado na grande maioria das obras que estão a decorrer na metodologia BIM e baseia-se no que têm sido os procedimentos em projetos sem modelos ou CDE. A sua principal vantagem tem sido até agora o maior obstáculo para a implementação de um processo mais eficiente: a responsabilidade de cada equipa. Uma vez que cada equipa trabalha no seu próprio modelo não existe responsabilidade partilhada. No ambiente geralmente opaco da construção é vantajoso poder culpar os outros pelos atrasos e desvios ao orçamento. Sem enquadramento legal ou das seguradoras, muitas equipas preferem um processo em aparência mais seguro, mas menos eficiente que prejudica a colaboração.

3. Metodologia

Desde o projeto de execução, toda a equipa de projeto encontrava-se a trabalhar em tempo real no CDE do Dono de Obra. Todas as atualizações feitas por cada equipa estavam à distância de um clique. Para além do projeto, o DO pretendia que a obra também fosse desenvolvida em BIM com colaboração estreita entre projetistas e empreiteiro. Para o efeito foi desenvolvido um EIR como documento anexo à consulta de empreitada que definia as obrigações da equipa de obra no âmbito do BIM. A colaboração entre equipa de projeto e de obra surge como um dos requisitos do EIR para minimizar/ evitar erros e consequentes atrasos e desvios orçamentais. O trabalho simultâneo é apoiado numa ferramenta própria do CDE que permite que várias equipas possam trabalhar ao mesmo tempo no mesmo modelo.
No início da empreitada foi aprovado por todas as entidades/empresas envolvidas um BIM Execution Plan com base no EIR da consulta de empreitada. Neste documento contratual, entre vários requisitos e standards, foi descrito o mapa de processos que permite a colaboração entre equipas de projeto e obra.

3.1. Mapa de processos

Numa empreitada existem alterações de projeto de duas ordens distintas: alterações de obra, decorrentes dos trabalhos de preparação de obra e PEs, e alterações de projeto pedidas pelo dono de obra a cargo, respetivamente, da equipa de obra e das equipas de projeto. A fronteira entre ambas é ténue. Para definir a colaboração entre equipas, foi adicionada ao BEP um mapa de processo para enquadrar trabalho simultâneo nos modelos.
Este processo de colaboração pretende evitar que cada equipa faça alterações no seu próprio modelo que culminem na necessidade de um trabalho, sempre complexo, de junção de elementos provenientes de diferentes fontes. Outro objetivo deste processo é garantir que trabalhos de preparação de obra ou alterações de projeto são desenvolvidos em modelos sempre atualizados.
Conceptualmente esta metodologia tem por base que os modelos de obra são os únicos a ter em conta durante a empreitada e que sempre que houver necessidade de alterações por parte dos projetistas estes devem entrar no modelo, fazer as alterações necessárias, emitir as peças desenhadas correspondentes e sair do modelo permitindo que trabalhos de preparação de obra possam decorrer em simultâneo sem terem de ser interrompidos, conforme ilustrado na figura abaixo.

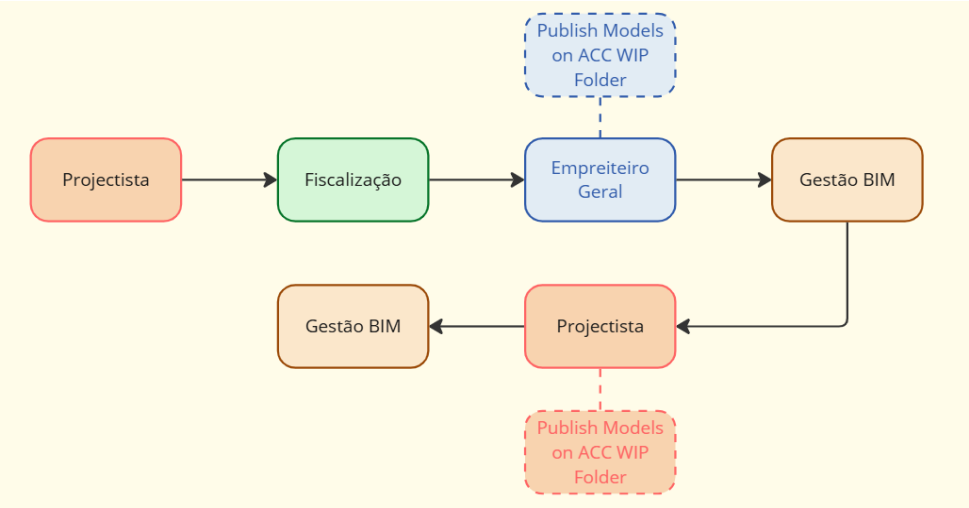


Figura 2: Procedimento de Acesso ao Modelo de Obra (AMO)

O procedimento estabelecido para acesso de projetistas aos modelos de obra resume-se da seguinte forma: A equipa que necessita aceder a um modelo pede o acesso à fiscalização. A fiscalização informa o consórcio. O consórcio prepara o modelo para que o projetista possa aceder e informa a gestão BIM que o modelo entretanto publicado, na CDE está disponível. A gestão BIM altera as permissões na CDE para que os projetistas possam aceder ao modelo de obra.
Após a conclusão dos trabalhos no modelo o projetista emite as respetivas peças desenhadas, faz a publicação do modelo na CDE e informa a gestão BIM de que as alterações estão concluídas. A gestão BIM retira as permissões de acesso ao modelo e o mesmo regressa à responsabilidade exclusiva do consórcio.

4. Caso de estudo

4.1. Acesso aos modelos por parte das equipas

Ao iniciar-se a fase de obra, os modelos BIM passaram para a responsabilidade do consórcio, tendo sido organizados por subempreitadas e especialidades, mantendo a nomenclatura e a estrutura da fase anterior. A informação de obra foi integrada de forma aditiva, assegurando continuidade e coerência com os modelos originais.
Por forma a conservar e identificar a informação e a permitir o trabalho em simultâneo, foram adotadas estratégias de controlo de modelação e de visibilidade. A modelação dos projetistas foi sempre feita através de Design Sets e Design Options onde eram identificados os elementos novos / alterados e os eliminados sem modificações diretas no modelo principal. Para garantir o controlo da visibilidade de elementos gráficos para todos, foram mantidos os view templates de projeto e criados novos pelo consórcio para preparação de obra.
Estes acessos por parte das equipas projetistas foram feitos, numa fase inicial, através de email. Posteriormente, passou a ser realizado em ambiente CDE, com a abertura de issues dedicados, assegurando maior agilidade, transparência e controlo do fluxo de trabalho entre projeto e obra.

4.2. Fluxos de comunicação

Com o objetivo de assegurar uma gestão estruturada da informação e reduzir a dispersão da comunicação entre intervenientes, foi estabelecido que todos os pedidos de esclarecimento (PEs) e respetivas respostas fossem obrigatoriamente registados e tratados através do CDE disponibilizado pelo Dono de Obra. Esta decisão permitiu substituir gradualmente os fluxos de comunicação assentes em correio eletrónico por um sistema centralizado e rastreável, garantindo maior transparência e controlo sobre o processo de tomada de decisão.

O procedimento implementado definiu um fluxo claro de participação e validação, envolvendo subempreiteiros, consórcio, equipas de projeto, Gestão BIM, fiscalização e Dono de Obra. Cada entidade passou a ter responsabilidades e tempos de resposta definidos, assegurando que todas as questões técnicas e operacionais eram registadas, analisadas e respondidas dentro de um ambiente comum e acessível às partes envolvidas.

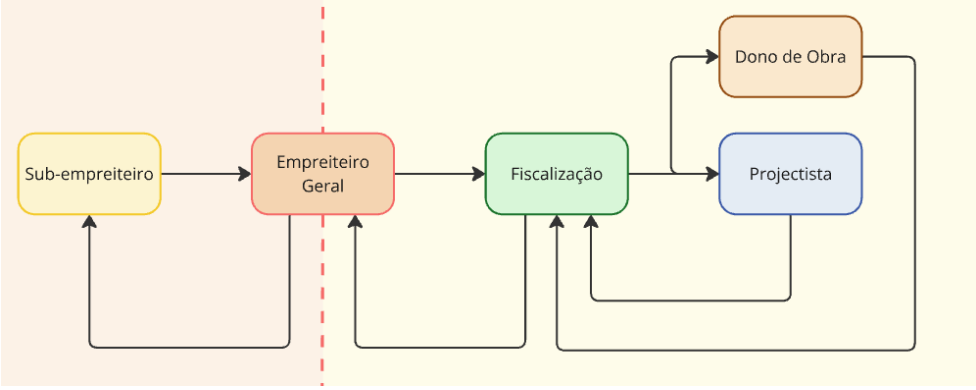


Figura 3: Fluxo de comunicação.

A centralização dos PEs permitiu ainda associar cada questão aos elementos do modelo BIM ou à documentação técnica correspondente, facilitando a compreensão dos problemas identificados e reduzindo ambiguidades na interpretação das soluções propostas. Este procedimento contribuiu para minimizar perdas de informação, evitar decisões baseadas em comunicações isoladas e assegurar um histórico completo das interações ocorridas ao longo da obra.

A utilização sistemática deste processo promoveu uma maior coordenação entre equipas e permitiu acompanhar, de forma estruturada, o ciclo de vida de cada PE, desde a sua emissão até à respetiva resolução e implementação em obra.

Para assegurar o acompanhamento e análise da informação gerada pelos PEs, foi desenvolvido um dashboard em Power BI, ligado diretamente ao CDE do Dono de Obra. Este dashboard é atualizado automaticamente com periodicidade diária, permitindo consolidar e visualizar, de forma estruturada, o estado global dos PEs.

Através da parametrização e regras de priorização, tornou-se possível identificar e destacar automaticamente os pedidos de esclarecimento mais críticos, apoiando cada interveniente na definição de prioridades e evitando a perda de foco sobre os temas com maior impacto técnico ou operacional na obra.

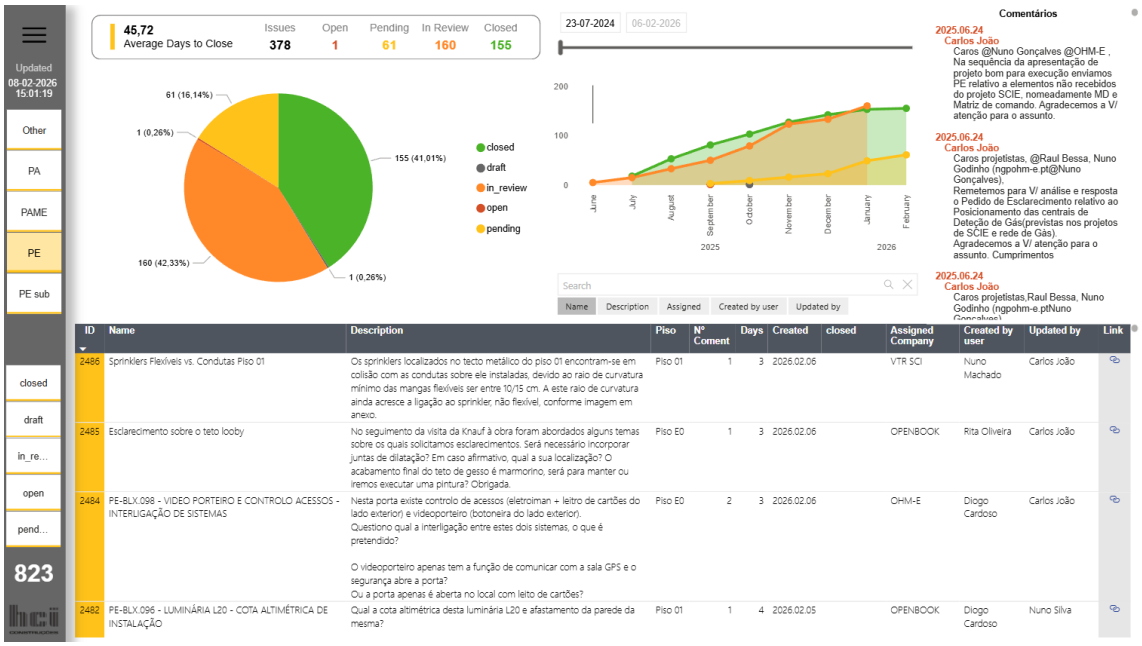


Figura 4: Dashboard gestão de PEs.

A centralização dos PEs permitiu ainda associar cada questão aos elementos do modelo BIM ou à documentação técnica correspondente, facilitando a compreensão dos problemas identificados e reduzindo ambiguidades na interpretação das soluções propostas. Este procedimento contribuiu para minimizar perdas de informação, evitar decisões baseadas em comunicações isoladas e assegurar um histórico completo das interações ocorridas ao longo da obra.

4.3. Publish

Para garantir a rastreabilidade dos acessos dos projetistas e a integridade dos modelos de obra, adotou-se uma estratégia de publicação da versão mais recente do modelo imediatamente antes e logo após a entrada dos projetistas nos modelos. Enquanto a publicação prévia ao acesso é da responsabilidade do consórcio, a publicação logo após a edição é da responsabilidade dos projetistas. A cada publicação do modelo corresponde uma versão originada automaticamente pela CDE, resultando num conjunto de backups.

Em caso de disputa ou de necessidade de apurar responsabilidades por alguma ação nos modelos é possível identificar facilmente quem (equipa) e quando acedeu a um determinado modelo. Com a mesma facilidade, se algo correr mal e for necessário anular uma determinada alteração será possível retroceder para uma versão anterior.

Adicionalmente, a utilização de option sets contribuí para a facilidade de identificar alterações feitas por projetistas e possibilita voltar ao ponto inicial sem ser necessário recorrer a uma versão anterior do modelo.

A publicação recorrente dos modelos, os backups e a utilização de option sets incrementam a confiança de preparadores e projetistas na edição de modelos, mais ou menos complexos, com a responsabilidade que daí advém.

4.4. Vantagens

A integração dos subempreiteiros no CDE do Dono de Obra permitiu que estes desenvolvessem as suas atividades de preparação e coordenação diretamente sobre o modelo comum, partilhado com o consórcio e com as equipas projetistas das respetivas especialidades. Esta abordagem promoveu uma maior articulação entre projeto e obra, reduzindo a necessidade de recriação de informação e minimizando inconsistências entre soluções projetadas e soluções executadas em obra.

A disponibilização do acesso aos pedidos de esclarecimento a todos os intervenientes envolvidos no processo produtivo contribuiu igualmente para uma maior transparência na tomada de decisão e para uma redução dos tempos de resposta, permitindo que a cadeia de produção tivesse acesso direto às decisões técnicas e alterações introduzidas no projeto.

Como resultado, verificou-se uma melhoria na coordenação entre equipas, uma redução de retrabalho e uma maior capacidade de antecipação de constrangimentos construtivos, contribuindo para uma preparação de obra mais eficiente e para uma execução com menor incerteza técnica.

O trabalho foi estruturado com base em regras previamente definidas, consolidando o modelo BIM como um instrumento ativo de apoio à obra, continuamente atualizado e fiável enquanto representação do executado. Este enquadramento fomentou uma dinâmica colaborativa efetiva, aproximando os projetistas da fase de construção e permitindo a sua intervenção célere sempre que necessário, com redução de discrepâncias de informação e de retrabalho.

A maior proximidade à obra e o conhecimento aprofundado das suas condicionantes possibilitaram às equipas de projeto dar contributos mais assertivos e conscientes do impacto das decisões na globalidade da empreitada. Em paralelo, o Consórcio passou a compreender de forma mais clara os princípios e conceitos definidos em fase de conceção, resultado de uma comunicação técnica contínua, o que lhe permitiu propor soluções mais alinhadas com as intenções e objetivos do projeto.

Ter uma equipa de gestão BIM permanentemente associada ao projeto aporta a todo o processo conhecimento específico capaz de auxiliar todas as outras equipas em casos de dúvidas ou dificuldades, capaz de assegurar o cumprimento dos procedimentos colaborativos previamente estabelecidos. Paralelamente, a gestão BIM facilita a comunicação entre todos os intervenientes do processo desde o projeto, à obra e posteriormente à exploração do empreendimento. A neutralidade da gestão BIM pode ser uma vantagem na mediação das relações entre os restantes intervenientes, principalmente nos momentos mais tensos de uma empreitada.

4.5. Inconvenientes

Apesar das vantagens, a abordagem colaborativa apresentou limitações operacionais. A facilidade de abertura de Pedidos de Esclarecimento promoveu uma comunicação contínua, mas também dispersou temas e dificultou o seu encerramento formal, prolongando ciclos de decisão e reduzindo a perceção de fecho efetivo.

Em paralelo, a exigência de manter o modelo permanentemente atualizado pressionou a emissão de peças desenhadas (de conceção e de preparação de obra). Cada alteração obrigou a garantir coerência entre modelo e documentação gráfica, implicando revisões frequentes e maior esforço de controlo de versões.

Neste contexto, a fronteira entre desenvolvimento de conceção e preparação de obra tornou-se menos nítida. Esclarecimentos evoluíram frequentemente para otimizações, adaptações à realidade da obra ou redefinições de pormenor, nem sempre sendo claro se se tratava de

aprofundamento da solução ou de alteração a pressupostos iniciais. Com o aumento da maturidade do modelo e a incorporação de contributos do empreiteiro, decisões típicas de preparação de obra foram por vezes interpretadas como revisões de conceção (e o inverso). Verificou-se também uma sobreposição entre coordenação BIM e coordenação de conceção: conflitos e inconsistências no modelo foram muitas vezes tratados como questões de processo, quando exigiam decisões técnicas. A coordenação BIM assegurou deteção, sistematização e rastreabilidade, mas a validação das soluções manteve-se no âmbito da coordenação de conceção, sendo essencial clarificar esta distinção para evitar diluição de responsabilidades.
Por fim, o que seria por defeito a principal preocupação da maioria das equipas, acabou por não se revelar um problema maior: a questão da responsabilidade. Uma vez que o processo de entrada nos modelos é claro quanto à salvaguarda de versões de modelos, o risco torna-se reduzido. No entanto existe sempre o perigo de uma peça de projeto ser emitida com preparações de obra que ainda não foram validadas pela fiscalização e é critica a definição de qual a responsabilidade da equipa de projeto quando intervém nos modelos de obra.

5. Conclusão

Embora o caso de estudo apresente um modelo de sucesso, é importante reconhecer que não existe uma fórmula única ou uma receita universal para a colaboração em obra, dada a variabilidade e especificidade de cada projeto. Contudo, a experiência demonstra que, independentemente do método adotado, é benéfico para todos os intervenientes que exista um enquadramento claro e formal do processo colaborativo. A definição prévia de regras de atuação, responsabilidades e fluxos de informação — seja através da metodologia aqui proposta ou de outras formas de cooperação digital — revela-se essencial para garantir a transparência, a confiança entre equipas e a eficiência global do empreendimento. É sobretudo extremamente importante que os requisitos de contratação sejam claros para todos numa fase de definição de contrato.

Referências

[1] HM Government, "Government Construction Strategy 2016-2020," Infrastructure and Projects Authority, London, UK, 2016.
[2] ISO 19650-1:2018, "Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) — Information management using building information modelling — Part 1: Concepts and principles," International Organization for Standardization (ISO), 2018.
[3] ISO 19650-2:2018, "Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) — Information management using building information modelling — Part 2: Delivery phase of the assets," International Organization for Standardization (ISO), 2018
[4] U.S. Green Building Council, LEED v4.1 Building Design and Construction Guide. Washington, D.C.: U.S. Green Building Council, 2019
[5] C. M. Eastman, P. Teicholz, R. Sacks, and K. Liston, *BIM handbook : a guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers, and contractors*. Hoboken, N.J.: Wiley, 2008.

12345

TRANSFORMING DISTRIBUTED DATA INTO REUSABLE INFORMATION: A CENTRALISED BIM STRATEGY FOR A COMMON DATA ENVIRONMENT IN THE A27 HOUTEN–HOOIPOLDER INFRASTRUCTURE PROJECT

Michiel Bienens, Vera A. Aparício, Cora Van de Poppe
José O. Pedro

ptBIM

TRANSFORMING DISTRIBUTED DATA INTO REUSABLE INFORMATION: A CENTRALISED BIM STRATEGY FOR A COMMON DATA ENVIRONMENT IN THE A27 HOUTEN–HOOIPOLDER INFRASTRUCTURE PROJECT

Michiel Bienens [(1)], Vera A. Aparício [(2)], Cora Van de Poppe [(3)] José O. Pedro [(4)]

(1) BESIX, Brussels, Belgium
(2) GRID, Lisbon, Portugal
(3) Mobilis (TBI), Apeldoorn, The Netherlands, 0000-0002-1394-7354
(4) Instituto Superior Técnico / GRID, Lisbon, Portugal, 0000-0002-7272-3596

Abstract

The Architecture, Engineering, Construction and Operations (AECO) sector generates large volumes of project data, yet only a small fraction is systematically reused across disciplines and lifecycle stages. This fragmentation prevents data from becoming actionable information and inhibits progress towards a single source of truth and linked data ecosystems. Current BIM practices and standards have advanced interoperability and common data environments, but practical evidence on how to operationalise centralised data reuse remains limited.

This study addresses the problem of distributed data sources in large infrastructure projects by investigating how a unified, centralised data source can drive multiple project processes and information domains, enabling reuse, synchronisation and validation of information across design, execution and disciplines.

A case study of the A27 Houten-Hooipolder infrastructure project (The Netherlands) evaluates a methodology based on a unified information model and a shared metadata structure as the core data source. Through this hub, project development and planning, BIM models, and validation workflows were governed and updated.

The results indicate that integrated data management reduces redundant modelling and information losses, improves traceability and enhances alignment between teams. Qualitative stakeholder reflections indicate that model-derived quantities alone are insufficient to explain later-phase cost outcomes, where execution method, temporary works and time-related drivers become dominant. The contribution is framed as improving cross-domain traceability and explainability, supported by a phase-dependent indicator set for subsequent quantitative validation. The study contributes insights into enabling data reuse in BIM workflows and outlines implications for standards and future research.

1. Introduction

Large infrastructure projects operate through digital environments intended to support coordination, design development and contractual governance. In practice, these environments generate models, drawings, documents, spreadsheets, schedules and validation records on a large scale. However, accumulating files is not equivalent to generating actionable information. Project data often remains locally meaningful but globally fragile: while individual disciplines manage their own artefacts, cross-domain comparison and reuse require repeated interpretation and translation.

This fragmentation becomes visible when examining enterprise-scale collaboration platforms. Within the BESIX contractor environment, more than 248 TB of data are stored on SharePoint-based systems, with a growth rate of approximately 15% over a six-month period. (Table 1) Similar patterns are observed in project-specific environments such as the Autodesk Forma Data Management. Across the BESIX EU and US Forma hubs, over 700,000 files are stored, representing more than 1.55 million file versions and approximately 13.5 TB of active project data, with the number of files nearly doubling within a single year.

Table 1: Files stored on the SharePoint of the BESIX contractor

	PDF	**SPREADSHEETS**	**ZIP**
#files	3.203.481	43.203.481	1.165.864
#size [GB]	-	-	844.17

A significant share of files (**11.97%**) never progresses beyond an initial version, despite being hosted on platforms designed for iterative, model-based coordination. This suggests that substantial portions of project data enter the system without becoming part of an active or reusable information lifecycle, resembling “cold storage” in which data is preserved but weakly mobilised into governed information processes.

Crucially, the approach presented in this paper does not aim to reduce the number of documents or files stored in these environments. Document proliferation is often a legitimate outcome of phase-based delivery, contractual requirements, and conscious versioning practices. The contribution lies instead in decoupling information reuse from file consolidation: stable identifiers, shared metadata and governed reference logic allow information to remain interpretable, linkable and synchronisable across domains even when file growth is unavoidable. The empirical data in Tables 1 and 2 therefore, serves as contextual evidence of fragmentation scale rather than a before/after benchmark of improvement.

2. Theoretical framing: fragmentation as reference instability

A common response to fragmentation is to pursue a “single source of truth”. Yet complex infrastructure projects operate as software ecosystems: planning, costing, MBSE/requirements, GIS, and BIM authoring are distinct regimes with entrenched practices. As noted in the project discussions, a literal single system is unrealistic; the practical objective is to link heterogeneous sources through stable reference logic rather than force all work into one environment.

Table 2: Top 10 file types stored on the Forma Data Management EU and US hub of BESIX

	File Count	Total File Size (GB)	Average File Size (MB)	Share of Total File Size	Median TIP Version	Files with TIP Version > 1
pdf	175,798	593.02	2.27	4.39%	3	26.29%
dwg	86,665	1,245.65	11.65	9.23%	4	32.12%
jpg	50,712	438.39	7.14	3.25%	2	3.33%
ifc	10,917	1,263.91	102.47	9.36%	4	24.13%
c4r	9,562	3,715.22	323.72	27.52%	3	55.60%
rvt	7,089	810.68	99.16	6.00%	4	28.38%
zip	5,535	1,837.85	260.05	13.61%	2	13.57%
rcs	3,666	2,515.23	655.20	18.63%	3	2.43%
rcc	2,474	366.26	149.84	2.71%	-	0.00%
nwd	2,034	715.16	255.70	5.30%	4	41.40%
Total	354,452	13,501.35	186.72	100.00%	-	-

2.1 Interoperability depends on stable identifiers and controlled semantics

The reuse of information across domains requires that objects, work packages, and deliverables remain recognisable as "the same thing" when they move between tools and across versions. Evidence from analytics-orientated BIM integration research highlights the importance of stable identifiers as the technical backbone for linking BIM models with enterprise systems, databases, and analytical dashboards. Within the IFC standard, this role is formally fulfilled by the IfcGUID, which is designed to provide a globally unique and persistent reference for each object throughout its lifecycle. This enables durable linking between BIM elements and external information such as tasks, documents, cost items, and schedules.

Empirical research, however, consistently shows that this assumption does not hold in practice. Vehovec (2025) demonstrates that IfcGUIDs are frequently regenerated during routine modelling actions, parametric workflows, and both internal and cross-platform IFC exchanges. Preservation rates as low as 1.3%, and rarely exceeding 30% even in unchanged models, indicate that identifier instability is a systemic characteristic of current IFC workflows rather than an exceptional failure [1]. As a consequence, elements representing the same physical asset are repeatedly interpreted as new instances, causing established links to project data to be broken and undermining reliable change detection and information continuity. In this paper, this instability is treated as a literature-grounded risk factor; no project-specific IfcGUID preservation test on A27 datasets is reported within the present study.

Consequently, relying solely on IfcGUIDs introduces structural fragility into data integration workflows. To mitigate this risk, a human-controllable and semantically meaningful unique asset key provides a more robust foundation for long-term information continuity [1].

This distinction reinforces findings from BIM business value research, which cautions against technocratic optimism: interoperability benefits do not arise automatically from standards or

tools, but only when identifier governance, workflows, and human oversight are deliberately aligned [2].

2.2 Quality is socio-technical: what can be checked, what must be governed

Within ISO-19650-style information management, information containers are governed through metadata assignment, e.g., status, suitability, classification and revision, enabling controlled transitions within a CDE workflow. Structured requirements (EIR) and machine-readable checking (IDS) provide complementary mechanisms. IDS can validate parametric and quantitative requirements, while narrative and procedural clauses remain outside its scope; this sets a boundary between automated QA/QC and human judgement. Accordingly, a project-wide reuse strategy must treat quality as layered: syntactic/structural consistency can be governed and partially automated, while semantic correctness remains dependent on domain expertise and controlled review [3] [4].

3. Methodology and scope

This study adopts a case study approach to analyse how a governed reference structure influences reuse and traceability under real-world constraints. The object of analysis is not the total digital maturity of the project, nor a full evaluation of all processes. Instead, the scope is restricted to the information structuring mechanism: how shared identifiers, work packages and metadata provide a backbone that allows distributed systems to remain interpretable across recurring governance cycles. Scope boundaries: (1) No claim is made that a unified reference structure eliminates fragmentation or guarantees semantic correctness. (2) The paper does not report a full linked-data implementation; rather, it positions governed reference structures as a foundation for future federation. (3) Tool descriptions (e.g., MBSE platform) are included only insofar as they explain reference governance, not as the source of novelty.

3.1 Qualitative stakeholder reflections

To complement platform analytics and structural artefacts, the study draws on stakeholder sparring sessions reflecting on Phase 1 completion and the two-phase governance rhythm. These reflections are used to triangulate (1) where a unified work-package key improves traceability, (2) where coupling breaks down due to domain-specific needs (planning activities, cost control, and execution sequencing), and (3) which constraints shaped implementation (e.g., coding capacity in enterprise systems and the influence of client payment/reporting arrangements). The interview material is treated as contextual evidence to refine boundary conditions and to avoid overstating quantitative causality from model data alone.

4. Case context

The A27 Houten–Hooipolder infrastructure project (The Netherlands) is the largest two-phase contract ever undertaken by Rijkswaterstaat. Its hybrid design-and-construct setup requires the consortium in Phase 1 to deliver frequent, integrated information updates to establish the Phase 2 agreement. This goes beyond standard Dutch D&C practice: the client demands transparency across cost, planning, risks, and MKI values, comparable to information requirements seen in

NEC4-based projects, increasing the need to structure and streamline data flows across domains [4].
The recurring "thermometers" illustrate the resulting coordination pressure. At fixed intervals, planning, cost data, requirements, risks, and model development must be mutually consistent, creating structural pressure to align these domains at defined moments. In such settings, small inconsistencies in identifiers, object definitions or work package boundaries can propagate quickly, increasing translation and reconciliation work before each governance checkpoint.
A challenge is that breakdown logics differ across domains. WBS supports scope/time decomposition, whereas cost is frequently aggregated differently and overlaps with WBS only at higher levels. The reference structure must therefore support mapping across breakdown logics without assuming one hierarchy can replace another. In the case context, reference governance was further constrained by enterprise coding capacity. Stakeholder reflections indicate that fixed character-length limits in the project's ERP system influenced the depth and dimensionality of work package encoding.

5. Unified information model as a governed reference structure

5.1 Core proposition
The paper's central proposition is that information coherence is primarily a structuring and governance challenge. Instead of attempting full platform integration ("a single source of truth"), the project establishes a governed reference structure in which identifiers and metadata are authoritative, while domain systems remain distributed. Stakeholder reflections indicate that this coupling is effective at higher levels, whereas execution activities, cost and planning require domain-specific decompositions.

5.2 System engineering governance
The MBSE environment (Relatics[1]) governs object hierarchies, work package definitions, requirements, risks and verification logic. However, the paper explicitly rejects a tool-centric narrative: a hub is only effective insofar as people maintain conventions, manage change, and enforce validation rules. This addresses the concern that MBSE platforms can appear as "holy grails" while they are empty shells without stewardship.

5.3 Development and structure of the unified information model
Operationalising a governed reference structure requires an intermediate unit that is sufficiently granular to support execution, yet stable enough to function as a cross-domain identifier. In the A27 case, this role is fulfilled by the work package, which is treated not merely as a planning artefact but as a reusable reference unit embedded across information domains.
Rather than defining work packages ad hoc within individual tools, the project formalised each work package as a composite identifier composed of five dimensions: (1) responsible team, (2) main and subprocess, (3) object type, (4) geographical segmentation, and (5) activity type (see figure 1). Each dimension corresponds to an existing governance or structuring logic, while

[1] Relatics is a web-based information management platform used to support requirements engineering and systems engineering in complex projects. It enables the structured definition of requirements, stakeholders, functions, and verification elements and their relationships, supporting traceability across the project lifecycle.

their fixed combination is codified into a single, machine-readable reference, enabling linkage between heterogeneous datasets, including planning, cost control, BIM models, requirements management and QA/QC records.

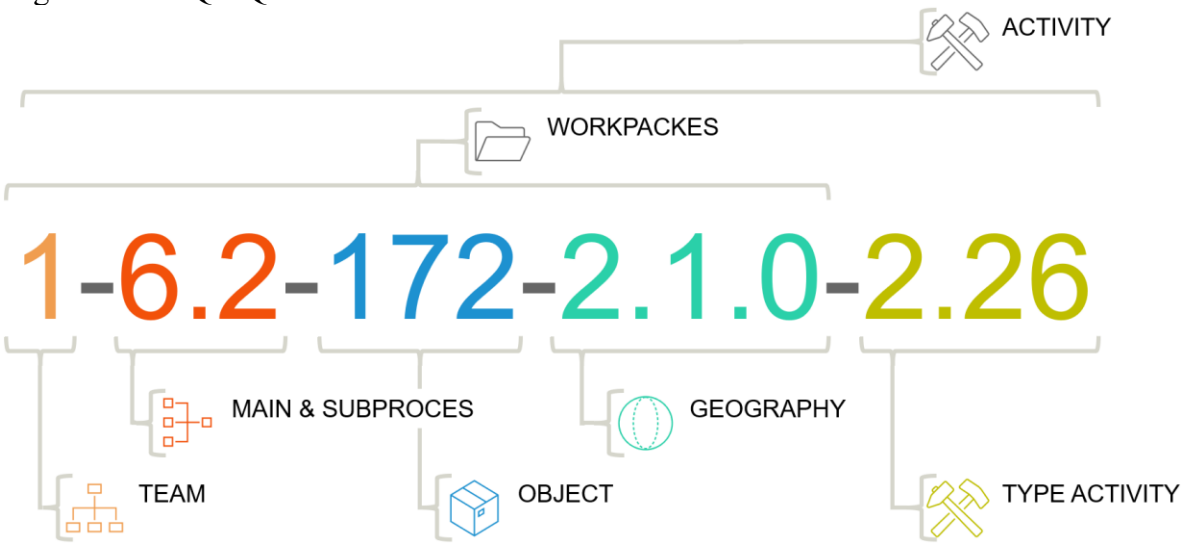


Figure 1: Example of uniform work package.

Crucially, the work package is constructed as an executable unit rather than a descriptive label, defining what work is performed, where, on which object, by whom, and within which process context. This allows consistent instantiation across recurring governance cycles, such as integrated progress updates or baseline assessments. Minor syntactic deviations (e.g., inconsistent separators or numbering conventions) are treated as governance failures, as they undermine the ability to computationally reconcile datasets at scale.

By positioning the work package as a shared reference layer, the project avoids forcing convergence at the tool level, while enabling cross-domain traceability. The work package thus functions as a controlled semantic boundary object: sufficiently formalised to support automation and checking, yet interpretable by domain experts. Building on this logic, the "uniform work package" is defined as a cross-domain reference unit spanning responsibility, process step, object scope, geography and activity type, embedded in models and referenced by planning and verification structures to enable linking without requiring semantic unification across all systems. (see figure 2). The value of this structure lies in improved traceability and reduced translation effort across governance cycles, while recognising that causal attribution of costs remains dependent on domain-specific analysis.

5.4 Interfaces

The unified reference structure enables linkage between domains, but it does not imply that all domain logics become simpler. Sequencing decisions and cost drivers may remain discipline-dependent. Internal project commentary stresses that work-package activity coding didn't necessarily make cost-driving sequencing easier, and that design quantity changes weren't the primary driver of price changes between governance moments.

A further interface constraint concerns how payment and reporting are structured. Stakeholder reflections highlight that, depending on contract conditions, payment may be accepted as

period-based progress entries or may be expected to align with work-package structuring. This implies that the reference structure must be designed with explicit understanding of the client's payment logic or must support a controlled translation layer between internal work packaging and client-facing reporting.

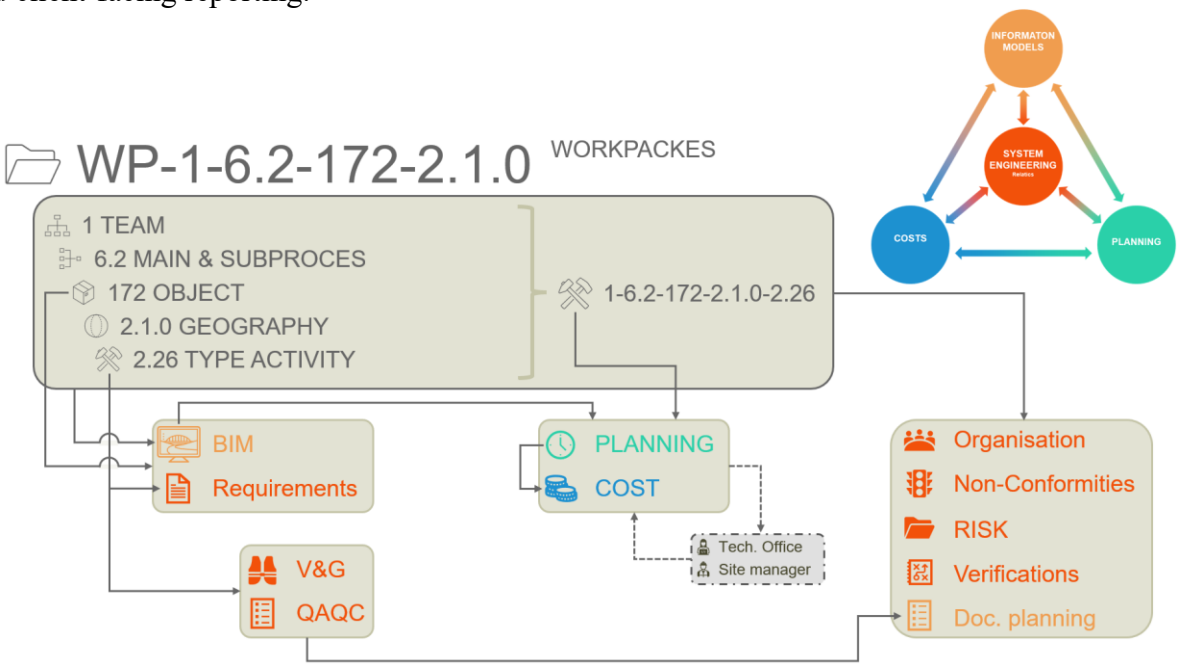


Figure 2: Relationships between the unified work package

5.5 Limits of a single breakdown and the role of a translation layer

Stakeholder reflections consistently highlight the practical difficulty of designing a single breakdown structure that simultaneously serves design decomposition, planning activities, cost control, and invoicing. In practice, each domain optimises for different questions: planning decomposes work into activities and sequences; design decomposes objects and structural logic; cost control frequently aggregates by production components, subcontract packages, or resource groupings. Attempts to force all domains into one rigid structure led to either insufficient explanatory depth or loss of usability. A pragmatic implication is to define an agreed coupling level (where cross-domain joins remain meaningful) and to support this with a controlled translation artefact (mapping table) between internal structures and client-facing structures where needed.

5.6 QA/QC as layered validation: from EIR narrative to computable checks

This metadata-driven QA/QC strategy prioritises syntactic consistency, traceability, and verifiable completeness of information, while acknowledging that semantic correctness remains dependent on expert review. As demonstrated in this thesis, quantitative and parametric EIR clauses can be translated into machine-readable IDS for automated validation, whereas narrative and process-oriented requirements fall outside the scope of rule-based checking [3]. This limitation reflects a broader issue in current BIM QA practice, where rule-based validation primarily detects technically invalid data but fails to identify semantically incorrect yet formally compliant information, thereby allowing context-related quality issues to pass undetected

6. Discussion

6.1 Implications for standards and linked-data trajectories

The case supports a pragmatic reframing: moving toward linked data may require an intermediate stage in which projects stabilise reference logic (identifiers, metadata stewardship, controlled parameter sets) before attempting semantic federation. The project's roadmap describes a "silver layer" as an intermediate step: a limited set of parameters and conventions stable across governance cycles and constrained to what can be governed with acceptable effort. (see figure 3)

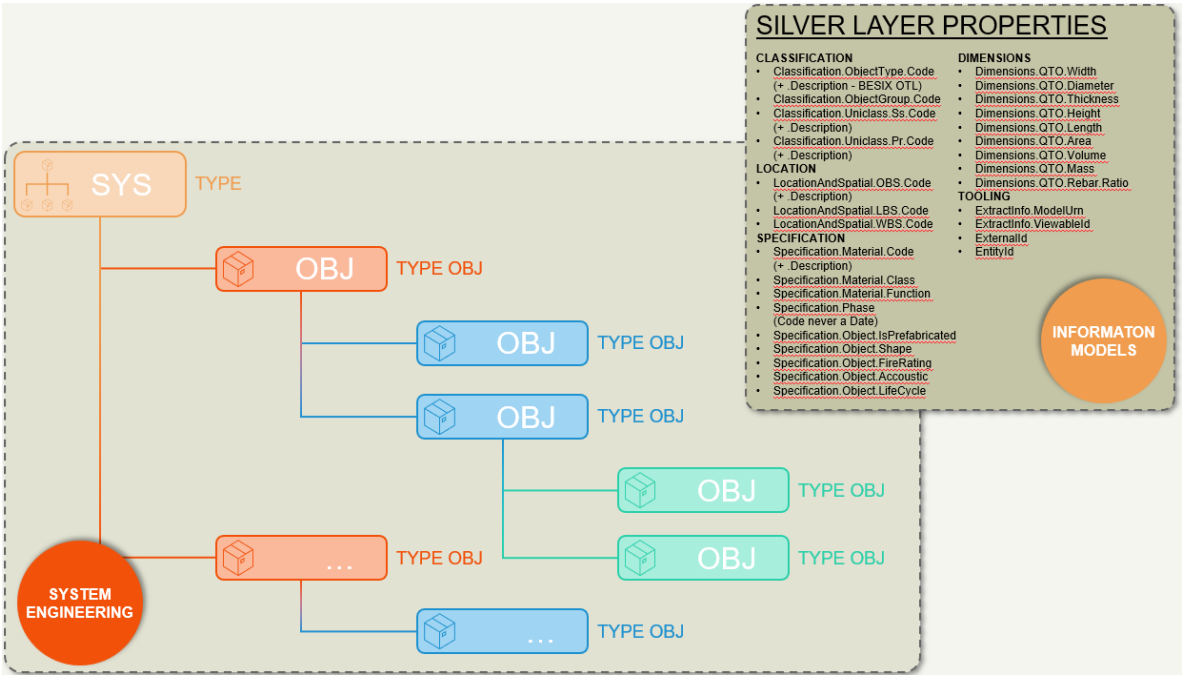


Figure 3: Example of silver layer roadmap

Interview further indicate that required information is phase-dependent: an abstract work breakdown may suffice early (option comparison and tracking large scope shifts), while later stages require decompositions reflecting execution sequencing and cost control drivers. The buildingSMART Data Dictionary (bSDD) can serve as a controlled semantic reference, while, EIR→IDS pathways scale automated checks for parametric requirements and leave narrative requirements within governance and review.

6.2 Asset information and downstream value

Research on COBie-based and asset-information-driven O&M emphasises that vendor-neutral structures and clearly defined responsibilities are prerequisites for preventing information loss at handover and enabling operational reuse. Accordingly, a governed reference structure during design and execution is not merely a coordination device but a precondition for credible asset information models and future operational analytics [4] [5].

Qualitative reflections further indicate that, particularly in later phases, the explanatory gap between "quantities" and "cost" widens: quantities support option comparison and basic trend

explanation, but substantial cost impacts arise from execution method, temporary works, access constraints and time related drivers. This reinforces the paper's framing: the value of a governed reference structure lies in improving traceability and explainability across domains, while cost prediction and causal attribution require additional governed data on method and production decisions beyond BIM geometry and basic quantities.

6.3 Transferability and the Portuguese infrastructure context

The methods and findings are potentially transferable to other contexts provided comparable conditions hold: recurring multi-domain governance checkpoints, codification discipline, and organisational capacity to steward shared metadata. These conditions are also present in several upcoming Portuguese infrastructure programmes, such as the new Lisbon airport, suggesting relevance beyond the Dutch context without assuming direct replication. Interview evidence, however, suggests that transferability depends on recognising the limits of "one structure fits all" and designing either an agreed coupling level, or an explicit translation mechanism between stakeholder structures. Adoption should therefore be cautious and contextual rather than assumed "directly transferable".

7. Conclusion

This paper reframes the ambition of a "single source of truth" as a governance problem. In the A27 Houten–Hooipolder case, information coherence was achieved through a governed reference structure based on stable identifiers, shared metadata, and executable work packages, rather than platform consolidation.

The findings show that large infrastructure projects do not primarily suffer from a lack of data, but from limited reuse across domains: BIM models, cost, quantity, and analyses coexist in parallel systems without creating interoperability. Without stable reference logic, each governance cycle requires renewed translation effort.

A structural challenge emerged in early project phases. Cost commitments and baselines had to be delivered before a mature BIM model existed. As a result, manual and spreadsheet-driven workflows became dominant, weakening the perception of the BIM model as a central data source. Systems engineering temporarily assumed the coordinating role, not by design, but by necessity. This sequencing issue illustrates that model centrality depends on information maturity at the moment governance decisions are made. The study therefore does not claim full semantic integration. Instead, it demonstrates that operational coherence can be achieved through an intermediate step: stabilising reference logic. The uniform work package functions as an executable cross-domain reference unit, linking planning, cost, modelling, and QA/QC without forcing tool convergence. This reduces translation effort, improves traceability, and enables controlled synchronisation across recurring governance checkpoints.

Importantly, the visual and analytical potential of BIM remains underexploited when the model is not positioned as a data-generating backbone during design. The case suggests that future digital maturity depends less on additional platforms and more on aligning governance, sequencing, and identifier stewardship from project inception. Under conditions of unavoidable data growth, reuse is achieved not by reducing files, but by stabilising references. A staged pathway emerges: first govern identifiers and a manageable "silver layer" of parameters; then scale machine-readable validation; and only thereafter pursue broader linked-data ambitions.

8. Future research

Future research should (i) compute the proposed indicator set on longitudinal project data to quantify translation effort, divergence reduction, and reference stability under governance cycles, (ii) extend BIM QA/QC beyond syntactic and parametric validation toward context-aware semantic assessment, addressing cases where information is technically valid but contextually incorrect, and (iii) develop and evaluate hybrid QA frameworks combining rule-based checks (e.g., IDS/EIR-derived requirements) with machine learning approaches to assess whether data is contextually expected.
Finally, research should examine governance models that sustain project-specific codes, identifiers, and shared metadata without fragmentation drift, ensuring that automated checks and ML insights remain traceable and operationally usable across tools and project phases.

References

[1] Ž. Vehovec, T. Cerovšek and J. Česnik, “Tracking and restoring IFC identifiers in cross-platform BIM workflows,” Univerza v Ljubljani, Ljubljana, 2025.

[2] M. Bienens and M. L. Caputi, “Business value of construction project management leveraging BIM and interoperability: a new perspective on enablers and challenges for the Belgian market,” Politecnico di Milano, Milan, 2022.

[3] E. Karatepe, J. C. B. Lino, M. Bienens and B. C. Fontana, “Standardising information requirements for BIM-based QA/QC: A contractor-Oriented Approach,” Universidade do Minho, Minho, 2025.

[4] Rijkswaterstaat Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, “Documenten,” [Online]. Available: https://a27houtenhooipolder.nl/bibliotheek/default.aspx. [Accessed 15 January 2026].

[5] R. G. d. S. Nogueira, B. Figueiredo, H. Sousa and S. Roux, “From BIM to Asset Management - data-driven guidelines for Operations & Maintenance,” Universidade de Minho, Minho, 2022.

[6] B. Wilson, M. Â. D. Azenha, F. Lima and S. Roux, “The Value of BIM for owners in the Asset Management Stages,” Universidade do Minho, Minho, 2025.

[7] J. Koning, C. van de Poppe-van den Noort and M. Bienens, Interviewees, *Sparren over BIM en 2F.* [Interview]. 10 April 2026.

[8] D. van Hees, C. van de Poppe-van den Noort and M. Bienens, Interviewees, *Sparren over A27 2F.* [Interview]. 17 April 2026.

12345

GESTÃO DIGITAL DA CONSTRUÇÃO NA RETOMADA DE OBRAS – ESTUDO DE CASO UNILA

Alexandre Miranda Giaimo Caraca, Rodrigo Broering Koerich, Rodrigo Ramos de Souza, Luiz Fernando Bastos Castilho, João Rafael Albuquerque Dias, Gabriel Aragão Santos, Caroline Machado de Abreu, Elias Ramos da Cruz Junior

ptBIM

GESTÃO DIGITAL DA CONSTRUÇÃO NA RETOMADA DE OBRAS – ESTUDO DE CASO UNILA

Alexandre Miranda Giaimo Caraca[(1)], Rodrigo Broering Koerich [(1)], Rodrigo Ramos de Souza[(1)], Luiz Fernando Bastos Castilho[(2)], João Rafael Albuquerque Dias [(3)], Gabriel Aragão Santos [(4)], Caroline Machado de Abreu [(5)], Elias Ramos da Cruz Junior [(6)]

(1) AltoQI, Sao Paulo, 0009-0005-6636-9825, 0000-0002-8521-4635, 0009-0007-8281-1913.
(2) UNOPS.Foz do Iguaçu, 0009-0002-4206-7361
(3) Sewat Consulting, São Paulo, 0009-0008-2911-2643
(4) Ankara Engenharia, Foz do Iguaçu, 0009-0007-5531-4639
(5) MPD Engenharia, São Paulo, 0009-0007-4676-8612
(6) Consórcio NERKPE. Foz do Iguaçu, 0000-0003-2223-0504

Resumo
O setor da construção civil enfrenta desafios históricos de produtividade e gestão. Este artigo apresenta o estudo de caso da retomada das obras do Campus Arandu da UNILA, um projeto complexo paralisado com 40% de execução. A pesquisa analisa a implementação de uma estratégia de gestão digital fundamentada na metodologia BIM e na série ISO 19650. Discute-se o uso de um Ambiente Comum de Dados (CDE - Common Data Environment), permitindo a integração 4D e 5D para controle de cronograma e custos. Os resultados demonstram que a centralização da informação e a rastreabilidade via notas BCF foram determinantes para a mitigação de riscos em um empreendimento de escala monumental.

1. Introdução

A indústria da construção civil no Brasil historicamente enfrenta lacunas significativas em produtividade, sendo caracterizada por uma carência crônica de inovação e pela baixa adoção de processos de digitalização em larga escala. Esse cenário de ineficiência técnica e gerencial frequentemente culmina em desequilíbrios contratuais, excesso de aditivos e paralisações prolongadas, as quais comprometem o cronograma de obras, que tem como principal finalidade gerar impactos positivos na infraestrutura social do país.
O Campus Arandu da Universidade Federal da Integração Latino-Americana (UNILA), em Foz do Iguaçu, representa um estudo de caso emblemático desse fenômeno. Sendo o último empreendimento projetado pelo renomado arquiteto Oscar Niemeyer, possuindo uma envergadura que transcende a infraestrutura física, sendo fundamental para a missão institucional de integração dos povos latino-americanos e para o desenvolvimento regional.

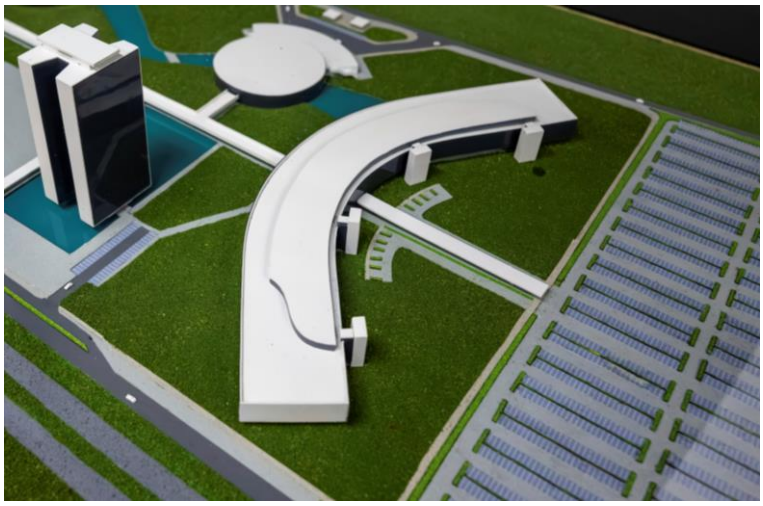


Figura 1 – Maquete física do novo Campus Arandu da UNILA. Fonte: Contratante, 2025.

A retomada do projeto em 2025, impõe desafios técnicos rigorosos, como a recuperação de estruturas de concreto existentes, a demanda por robustos e complexos sistemas de engenharia e instalações, e a necessidade da compatibilização desses sistemas com estruturas pré-existentes. Nesse contexto, a digitalização dos processos de engenharia, planejamento, controle de custos e acompanhamento da obra através de ferramentas digitais nutridos por meio dos modelos BIM torna-se decisiva para a estratégia do consórcio executor, e conecta o projeto de Niemeyer a era da gestão da informação da construção.

2. Contextualização do Empreendimento e Caracterização Física

O Campus Arandu, localizado em Foz do Iguaçu (PR), adjacente à Usina Hidrelétrica de Itaipu, este empreendimento, cujas obras foram interrompidas por questões técnicas em 2014 com aproximadamente 40% de execução, teve sua retomada consolidada em 2025.
A Fase 1 do projeto, com conclusão prevista para 2027, abrange uma área total construída de 94.197,97 m², subdivididos nas seguintes construções, denominadas contratualmente de Seções:
Seção 1 - Edifício do Restaurante Universitário e Biblioteca: Edificação circular de dois pavimentos com estrutura em concreto armado e protendido, totalizando 9.320,93 m².
Seção 2 - Central de Utilidades e Galerias: Infraestrutura predominantemente subterrânea (5.850,61 m²) destinada a abrigar sistemas de geradores, subestação e central de água gelada, conectando os edifícios das seções 1, 3,4 e 5 através túneis.
Seções 3 e 6 – Urbanização incluindo as áreas externas, como sistema viário, estacionamento (2.313 vagas), espelhos d'água (7.485,08 m²), passarelas e marquises (3.320,44 m²).
Seção 4 - Edifício Central de Administração: Ocupando 22.471,16 m², esta é a estrutura mais proeminente, com 18 pavimentos acima do nível de implantação, sendo 13 pavimentos de estrutura já executado, contando ainda com um subsolo.
Seção 5 - Edifício de Salas de Aula: Composto por quatro pavimentos e área total de 43.230,27 m², em concreto armado e protendido, com vedações externas em esquadrias de alumínio e vidro.

3. Estrutura de Equipe e Estratégia Organizacional

Para a gestão desta construção, foi estabelecida uma estrutura multidisciplinar, dimensionada para superar os desafios técnicos e os prazos contratuais. Contando com os seguintes setores:
Gerência de Contrato e Engenharia: Responsável pela coordenação técnica, contratual e estratégia do consórcio.
Setor de Planejamento: Focado na elaboração e controle do cronograma executivo e de suprimentos, essencial para a previsibilidade das frentes de trabalho.
Setor de Execução de obras: Atua diretamente na execução das seis frentes de trabalho (Restaurante, Central de Utilidades, Edifício Central, Salas de Aula e Urbanizações).
BIM e Projetos: Vinculados a Engenharia, atuando com a implementação do BIM no Contrato e no desenvolvimento e/ou revisão dos projetos viabilizando a execução da obra.
Consultoria BIM (Altoqi Services): Responsável pelo acompanhamento das modelagens BIM em conformidade com os requisitos de informação, implantação e acompanhamento in loco dos sistemas de armazenamento, compatibilização e comunicação das interferências dos projetos, e extração de quantitativos.
Modelagem BIM: Empresa especializada no desenvolvimento dos Modelos BIM.
Além do consórcio executor, cooperam com o empreendimento a UNOPS e o Consórcio Fiscalizador NERKPE, que atuam garantindo o alinhamento entre as partes.
Essa arquitetura organizacional visa garantir a fluidez entre o planejamento e a execução. A presença de profissionais como gerente BIM, arquiteto BIM, e de consultorias especializadas demonstram um compromisso com a inovação por parte do consórcio e, eleva o padrão de qualidade dos dados que são indispensáveis para subsidiar todas as áreas da obra.

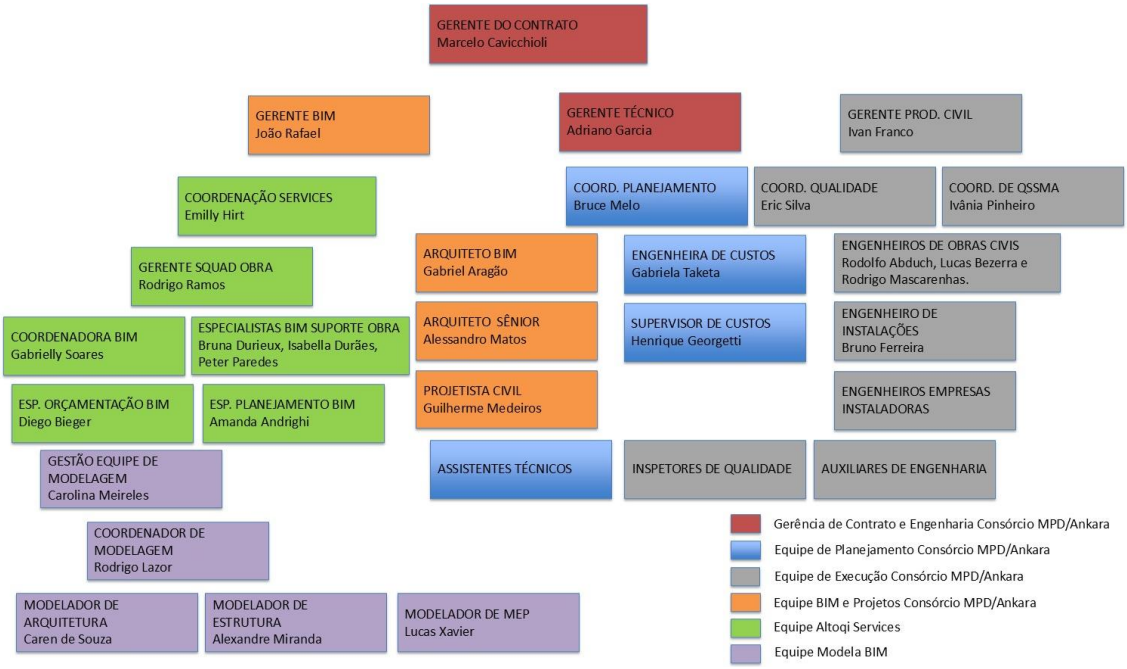


Figura 2 – Estrutura organizacional do consórcio executor. Fonte: Consórcio MPD/Ankara, 2025. Fonte: Consórcio MPD/Ankara, 2025.

4. Modelagem digital dos projetos

Foram disponibilizados 1269 arquivos em formato .DWG referentes aos projetos executivos, estes foram modelados através de softwares BIM de modelagem Autodesk Revit de Arquitetura e MEP e do AltoQi Eberick para a modelagem das estruturas. A modelagem abrangeu todas as Seções, com destaque para as disciplinas de arquitetura, estrutura e instalações prediais, além do sistema viário no entorno das edificações, com parametrização orientada ao planejamento da execução e extração de quantitativos.
Para a execução da modelagem de um empreendimento com mais de 94 mil metros quadrados de área construída, mais de quinze disciplinas de projetos e diversos profissionais envolvidos no processo de modelagem, a utilização do Bim Execution Plan (BEP) se fez necessária para garantir a padronização das informações, desde a definição dos usos pretendidos com o BIM até a inclusão de propriedades e parâmetros dos elementos utilizados. Definir o conjunto de informações fundamentais para desempenho das atividades, metas, objetivos, responsabilidades, direcionar a equipe e garantir alinhamento com as expectativas do cliente foi determinante para que as informações estivessem objetivas.

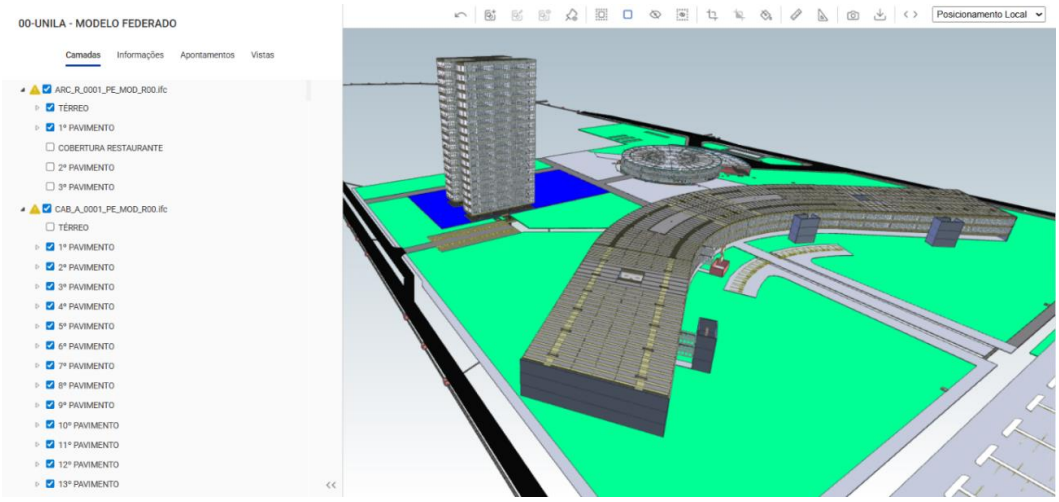


Figura 3- Modelo Federado do Campus Arandu. Fonte: Consórcio MPD/Ankara, 2025.

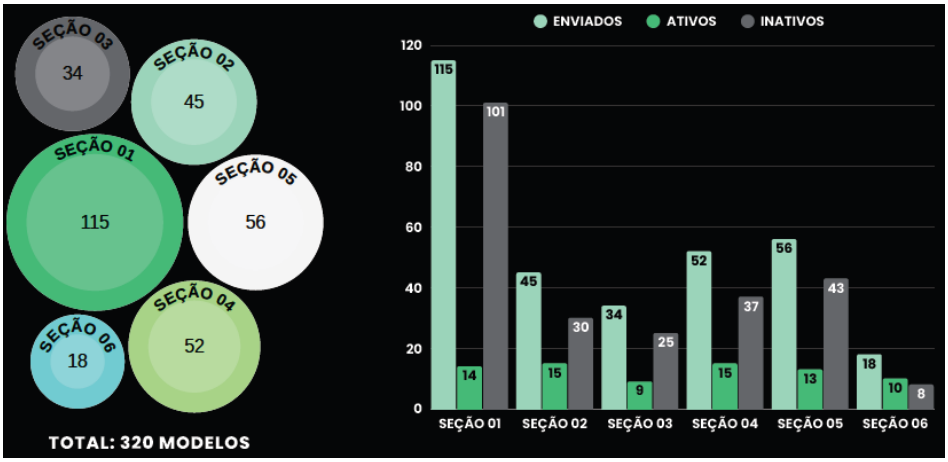


Figura 4 - Número total de modelos 3D compartilhados no Visus Collab, entre julho e novembro de 2025. Fonte: Consórcio MPD/Ankara, 2025.

A decisão pela modelagem BIM foi determinante no convencimento e produção de evidências para que consorcio executor pudesse apresentar os problemas e comprovar a justificativa a necessidade de reengenharia de alguns dos sistemas projetados, como ar-condicionado, ventilação, incêndio e instalações elétricas junto a Gerenciadora e ao Cliente.



Figura 5 - Número total de interferências entre HVAC x INC identificadas nos projetos originais após a modelagem BIM. Fonte: Consórcio MPD/Ankara, 2025.

5. Ambiente Comum de Dados

Para garantir a integridade da informação, adotou-se o conceito de "única fonte da verdade" por meio de um Common Data Environment (CDE). A plataforma AltoQi Visus foi utilizada como ferramenta centralizadora para a modelagem e coordenação das disciplinas, viabilizando a integração dos modelos para planejamento (4D) e orçamento (5D). Este ecossistema permitiu a comunicação fluida via arquivos IFC e notas BCF, assegurando a interoperabilidade técnica necessária para a validação das estruturas executadas.

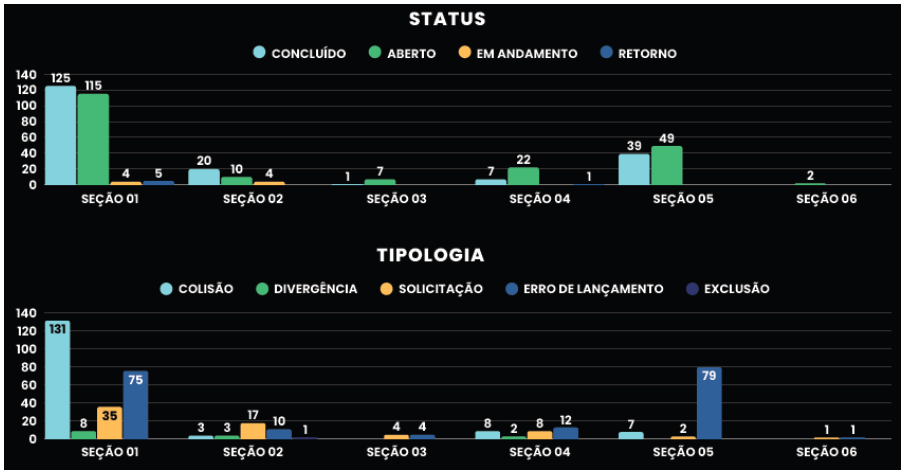


Figura 6 - Quantidade de notas BCFs criadas entre os colaboradores, entre julho e novembro de 2025. Fonte: Consórcio MPD/Ankara, 2025.

A estruturação dos fluxos de trabalho seguiu os preceitos da norma ISO 19650-1 e 2, com processo de aprovação de modelos automatizado dentro do CDE, garantindo que apenas informações validadas fossem utilizadas no canteiro, reduzindo o retrabalho decorrente de revisões obsoletas.

6. Quantificação para execução

O principal uso BIM pretendido para este empreendimento foi a extração de quantitativos para a criação de pacotes de contratação e aquisição. As comparações acabam sendo inevitáveis, uma vez que a modelagem foi iniciada juntamente com a retomada da obra, e quantitativos manuais precisavam ser feitos para a execução física. Posteriormente com a utilização dos modelos BIM, foi possível comparar diversos quantitativos e utilizá-los para a aquisição de materiais, contratação de serviços, e tomada decisões.

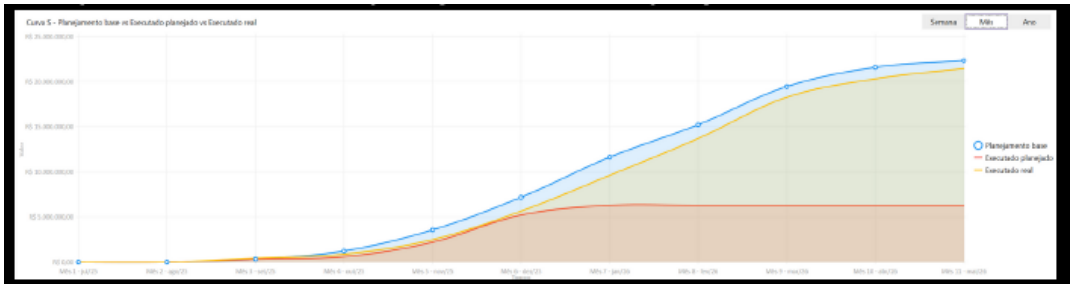


Figura 4 - Curva S demonstrando os avanços da obra. Fonte: Consórcio MPD/Ankara, 2025.

Esse processo foi desenvolvido com o uso do AltoQi Visus Cost Management, empregada como ambiente de vinculação entre o modelo informacional e a EAP da obra. A modelagem dos projetos executivos foi direcionada principalmente para esse uso, com bibliotecas e parâmetros preparados para mapear elementos às regras de quantificação executiva, possibilitando a extração parametrizada e rastreável de quantitativos a partir do modelo, incluindo elementos não modelados. Os quantitativos consolidados subsidiaram decisões de aquisições, a conferência de medições dos serviços e a formalização de contratações, promovendo alinhamento entre engenharia, suprimentos e gestão contratual.

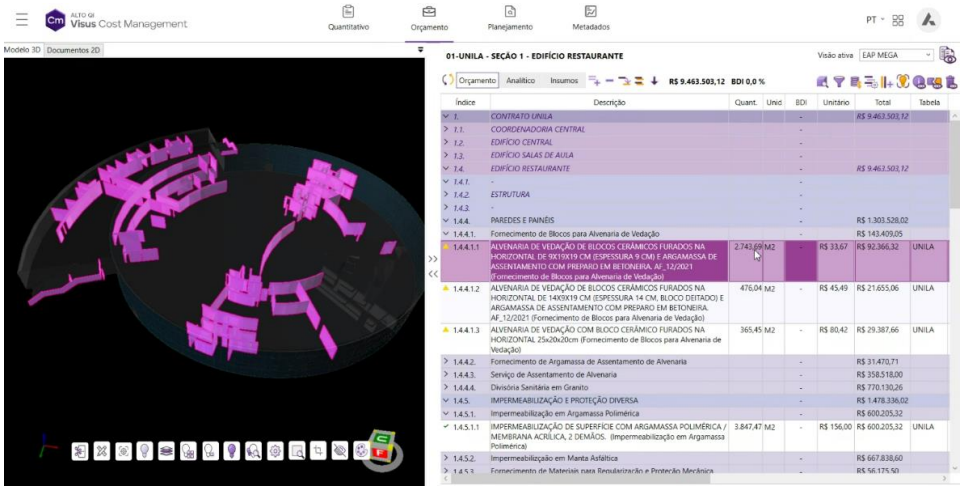


Figura 8 - Imagem composição de custo vinculada ao modelo BIM. Fonte: Consórcio MPD/Ankara, 2025.

Dentre as vantagens atreladas ao orçamento em BIM, a rastreabilidade dos quantitativos se tornou peça-chave nos comparativos entre quantitativos, uma vez que foi possível obter a localização dos elementos na visualização 3D, e desta forma ajustar possíveis divergências, seja por critérios de medição diferentes, modelagem não precisa, erro humano, entre outros. Observa-se ainda outros fatores relevantes:

- Quantificação acelerada de projetos de instalações, com muitos elementos unitários;
- Atualizações ágeis de quantitativos entre revisões de projetos, permitida com a padronização das informações e regras de quantificação;
- Criação de regras para quantificar itens não modelados ou serviço, a partir de outros elementos modelados.

7. Planejamento e simulação da execução

Outro uso pretendido pelo BIM era a simulação do processo construtivo utilizando os modelos virtuais, popularmente conhecido como BIM 4D. A sequência construtiva da obra foi testada digitalmente, permitindo prever gargalos logísticos e alinhar o cronograma físico com as condições reais da obra. Todo esse processo foi conduzido através da ferramenta AltoQi Visus Planning, utilizando os modelos virtuais, conectando os quantitativos extraídos destes modelos, e a Estrutura Analítica de Projeto (EAP) utilizada na execução física da obra.
Com estas informações, foi possível gerar a simulação da execução virtual do empreendimento, assim como obter dados de Curva S e histograma de mão de obra.

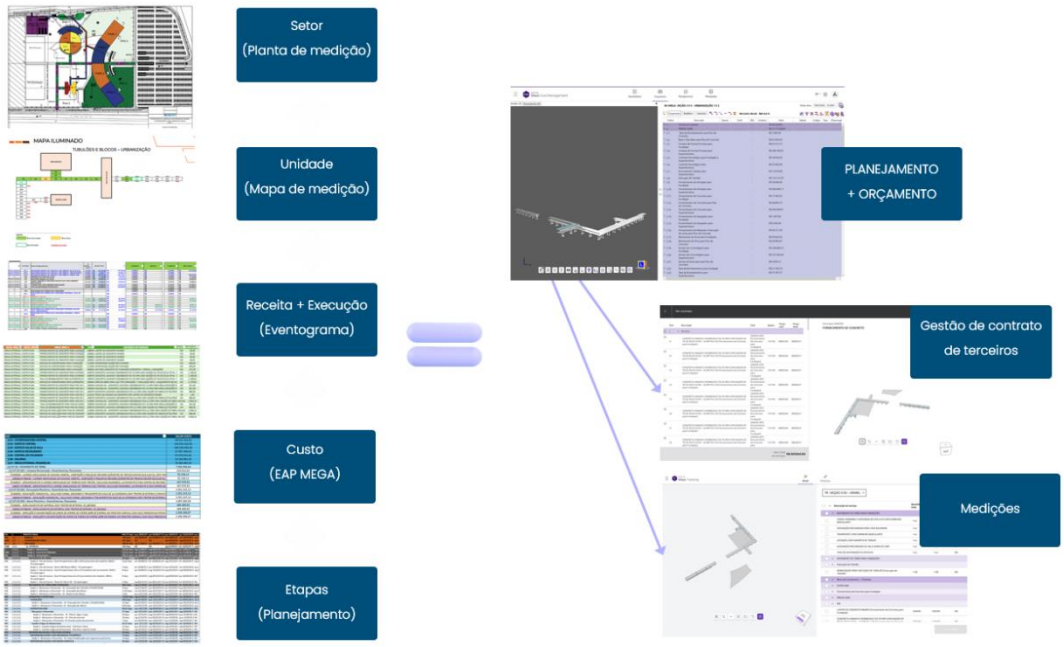


Figura 9 - Esquemático comparativo entre o processo analógico e fragmentado realizado pelo setor de Planejamento e de Custos e o processo pós digitalização. Fonte: Consórcio MPD/Ankara, 2025.

8. Gestão digital do Empreendimento

Com a quantidade de informações geradas para um empreendimento desta magnitude, a utilização de uma ferramenta para acompanhar os indicadores se fez necessária, uma vez que foi possível obter informações objetivas e rápidas utilizando apenas um navegador de internet, seja com relação aos modelos 3D, notas BCF, avanços e curva S, orçamento atual, lista de insumos e a simulação do planejamento.

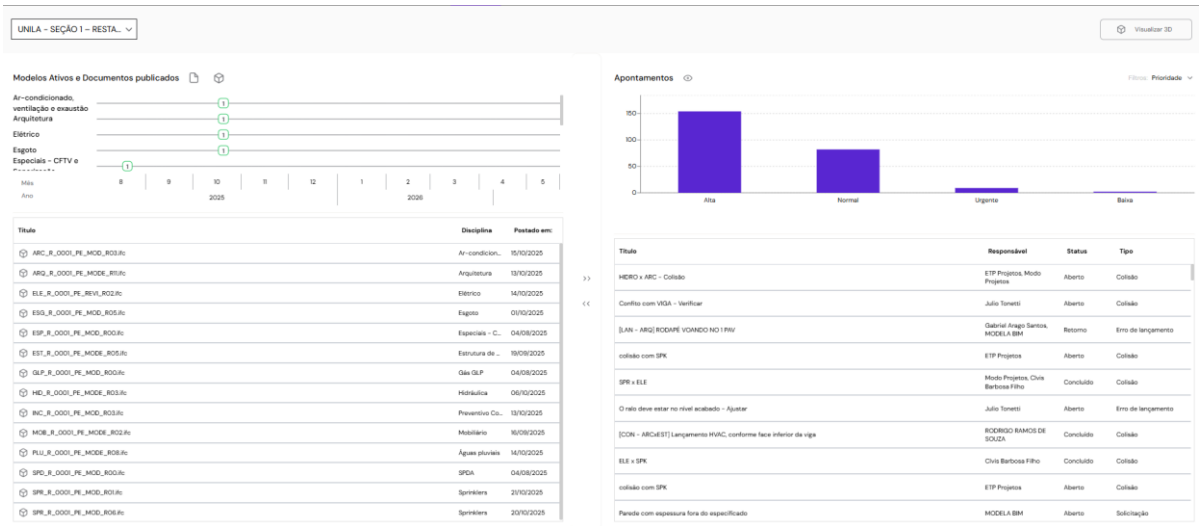


Figura 10 - Ambiente on-line de monitoramento dos apontamentos realizados nos modelos BIM. Fonte: Consórcio MPD/Ankara, 2025.

Para exemplificar a quantidade de informação envolvida no processo de modelagem e utilização pelos colaboradores, incluindo todas as seções, nos primeiros 5 meses após o início da obra e da modelagem, tínhamos:

- Trezentos e vinte modelos 3D gerados e compartilhados, muitos deles sendo revisões após compatibilização e análise técnica comparativa com projetos originais;
- Trezentos e oitenta notas BCFs;
- Oitenta e quatro colaboradores ativos no Visus Collab.

9. Considerações Finais

A digitalização dos processos de retomada das obras do Campus Arandu (UNILA) demonstra que a metodologia BIM, quando fundamentada em diretrizes normativas como a série ISO 19650, transcende a mera representação tridimensional, consolidando-se como uma ferramenta estratégica de governança pública. O estudo evidencia que a complexidade inerente à integração de projetos novos com estruturas paralisadas há anos não pode ser mitigada sem um Ambiente Comum de Dados (CDE) que assegure a integridade, a rastreabilidade e a imutabilidade das informações.

Neste contexto, a utilização das soluções adotadas mostrou-se eficaz para operacionalizar o fluxo de informação técnica, permitindo que o consórcio e a gerenciadora mantivessem uma "única fonte da verdade". A transição de um modelo de gestão documental fragmentado para

um modelo de dados integrado possibilitou não apenas a antecipação de conflitos geométricos (clash detection), mas também uma maior previsibilidade orçamentária e de cronograma.
A rastreabilidade das decisões, viabilizada pelo uso de notas BCF, confere ao gestor do contrato um nível de transparência e segurança jurídica indispensável em empreendimentos financiados com recursos da União.
Ademais, destaca-se que o sucesso da implementação não decorreu apenas da escolha das ferramentas de software, mas da estruturação de processos claros e da presença de especialistas técnicos *in loco*. A atuação do BIM Manager, Arquiteto BIM e consultores BIM *in loco* foi vital para que a tecnologia fosse absorvida pela rotina do canteiro de obras, superando as barreiras culturais de resistência à digitalização.
Como limitação deste estudo, observa-se que os resultados aqui apresentados se referem à fase de execução e coordenação. Sugere-se, para trabalhos futuros, a investigação da transição desses modelos para a fase de Operação e Manutenção (BIM 6D/7D), analisando como o *As-Built* digital produzido na UNILA poderá otimizar o ciclo de vida do ativo. Em suma, o caso UNILA posiciona-se como um referencial para a administração pública brasileira, comprovando que a maturidade digital é o único caminho viável para evitar novos ciclos de paralisação e desperdício de recursos em obras de infraestrutura social.

Referências

[1] Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2015). NBR 15965: Sistemas de classificação da informação da construção.
[2] buildingSMART International. (n.d.). openBIM®. Recuperado em 21 de outubro de 2025, de https://www.buildingsmart.org/about/openbim/
[3] Campus Arandu — UNILA. (2025, 26 setembro). Arquiteto da equipe de Niemeyer acompanha avanços da retomada das obras do Campus Arandu da UNILA. Recuperado em 21 de outubro de 2025, de https://campusarandu.unila.edu.br/arquiteto-da-equipe-de-niemeyer-acompanhaavancos-da-retomada-das-obras-do-campus-arandu-da-unila/
[4] Campus Arandu — UNILA. (2025, 12 setembro). Obras do Campus Arandu da UNILA avançam com início de concretagem do bloco de salas de aula. Recuperado em 21 de outubro de 2025, de https://campusarandu.unila.edu.br/itaipu-acompanha-inicio-da-concretagem-do-novocampus-da-unila/
[5] Dias, J. R. A. (n.d.). João Rafael Albuquerque Dias — LinkedIn. LinkedIn. Recuperado em 21 de março de 2026, de https://www.linkedin.com/in/joao-rafael-/
[6] Fédération Internationale des Ingénieurs-Conseils. (1999). Conditions of contract for construction for building and engineering works designed by the employer (Red Book).
[7] United Nations Office for Project Services. (2024). ITB/2024/55082: Grandes obras — Seção V: Requisitos.

12345

ESTUDO PILOTO DO RESIL - PROCEDIMENTO METODOLÓGICO AUXILIADO PELO BIM PARA AVALIAR A FLEXIBILIDADE DE EDIFÍCIOS MULTIFAMILIARES

Sandra Ribeiro, Heitor Silva, Hugo Farias

ptBIM

ESTUDO PILOTO DO RESIL - PROCEDIMENTO METODOLÓGICO AUXILIADO PELO BIM PARA AVALIAR A FLEXIBILIDADE DE EDIFÍCIOS MULTIFAMILIARES

Sandra Ribeiro[(1)], Heitor Silva[(2)], Hugo Farias[(3)]

(1) UFRN, Natal, 0000-0001-9851-1009
(2) UFRN, Natal, 0000-0003-2651-1012
(2) ULISBOA, Lisboa, 0000-0001-9346-4039

Resumo
A resiliência no ambiente construído requer edificações aptas a otimizar o seu uso e manter o seu ciclo de vida funcional de modo sustentável, a fim de evitar a sua obsolescência. Tais construções devem apresentar certos atributos, como a flexibilidade, que lhes confere a capacidade de adaptação e transformação frente às demandas em constante evolução. Nesse contexto, o presente manuscrito apresenta o Resil, um procedimento metodológico auxiliado por BIM e Programação visual para avaliar a flexibilidade em edifícios multifamiliares, por meio da sua aplicação em um estudo-piloto. O artefato proposto foi desenvolvido em três etapas interativas: (a) Análise: baseia-se na revisão da literatura para a identificação de critérios avaliativos, indicadores, categorias analíticas, métricas e parâmetros, além da coleta de dados e seleção de projetos; (b) Síntese: consiste na construção, implementação e revisão do Resil, com parametrização e testagem dos critérios; e (c) Avaliação: refere-se à discussão sobre a funcionalidade, aplicabilidade e utilidade do Resil, como meio de análise e avaliação de projetos em BIM. Os resultados demonstram a eficácia da proposição em automatizar a verificação desse atributo com métricas claras, integrando o papel do avaliador. A investigação contribui para o processo de projeto em BIM, visando o fomento de habitats e, consequentemente, de cidades mais resilientes e sustentáveis. O estudo prosseguirá com a aplicação do Resil em edifícios de referência no Brasil e em Portugal, com intuito de encontrar soluções exemplares e direcionamentos projetuais.

1. Introdução

O interesse pela resiliência no ambiente construído tem crescido substancialmente nas últimas décadas [1]. No contexto da habitação, tal conceito impulsiona a qualidade e sustentabilidade por meio de diferentes atributos [2], como a flexibilidade que representa de modo sustentável a capacidade de adaptação e transformação do edifício diante das demandas em constante evolução ao longo do seu ciclo de vida [3]. Apesar da expansão deste tema, existem lacunas na literatura. Destaca-se, dentre essas, a necessidade de estudos que fomentem orientações

projetuais – em termos espaciais, formais e funcionais [4] - e que formulem instrumentos inovadores de avaliação e análise de projetos [5]. Posto isto, observa-se o potencial do BIM em automatizar o processo avaliativo, o que inclui a verificação da flexibilidade no projeto arquitetônico [6].

Neste âmbito, o presente artigo, que compõe uma das etapas de uma investigação de doutoramento em curso, apresenta o "Resil", um procedimento metodológico auxiliado por BIM para avaliar a flexibilidade em edifícios multifamiliares, por intermédio de um estudo-piloto. Este trata-se de um projeto arquitetônico contemporâneo, destacado pelos seus autores pela sua capacidade de se ajustar e reconfigurar ao longo do tempo. Com este propósito, o artigo demonstra os resultados e o funcionamento do Resil, que ocorre num ambiente digital, utilizando dados geométricos e não geométricos e combinando ferramentas de autoria de modelos e de linguagem de programação visual. Apresenta, ainda, um breve relato sobre como foi elaborado o artefato e detalha o seu fluxo de trabalho, enfatizando os processos, as atividades, os critérios de avaliação, métricas e os recursos que o suportam. Os próximos tópicos do artigo abordam, a elaboração e fluxo do Resil, seguido do estudo-piloto e de considerações finais.

O caminho metodológico percorrido fundamenta-se em três etapas. A primeira, "Análise", deu-se pela Revisão Sistemática da Literatura, que inclui o levantamento de indicadores de desempenho, categorias analíticas, critérios avaliativos, métricas, ferramentas digitais, requisitos e o mapeamento de processos. Adicionalmente, abrange a recolha de dados, contemplando a seleção de projetos para testagem e estudos-piloto. Devido à limitação de páginas deste artigo, apresenta-se apenas um estudo-piloto. A segunda etapa, "Síntese", consiste na construção, implementação e revisão do Resil. É de salientar que essas etapas ocorreram de modo iterativo, com a sobreposição de ações e diversos ciclos de tentativa e erro, sobretudo durante a parametrização dos critérios elencados. Adicionalmente, neste estágio da investigação, todos os critérios se encontram parametrizados e testados. A terceira etapa, "Avaliação", contém uma breve discussão sobre a funcionalidade do Resil, especialmente no que diz respeito à sua aplicabilidade no estudo-piloto e à sua utilidade como meio avaliativo de projeto, tomando nota do seu potencial e limitações.

2. Resil

2.1 Elaboração

A elaboração do Resil teve como ponto de partida a revisão sistemática da literatura sobre a flexibilidade na arquitetura [7], no contexto da habitação [8,9,10] e da resiliência do ambiente construído [11,12,13], o que resultou na identificação de características e estratégias projetuais, transformadas em 30 critérios avaliativos. Estes manifestam-se como um guia de avaliação, sendo agrupados em indicadores de desempenho, sendo eles: A-Adaptação; B-Ampliação; C-Diversidade; D-Junção e desmembramento; E-Personalização; F-Circularidade; G-Difusão do conhecimento.

Os indicadores de A a F estão relacionados com as partes constituintes do edifício, tomando como base cinco categorias: 1-Terreno; 2-Circulação; 3-Organização espacial; 4-Tecnologia; 5-Caixa Mural. Tais ordenações derivaram do entendimento das camadas propostas por Brand [14] e das categorias analíticas de Ching [15], Baker [16], Clark e Pause [17] e Taglari [18]. Uma sexta divisão (6-Independente) foi incluída a fim de contemplar o indicador G cujos

aspectos não se encaixam na perspectiva da edificação. Outrossim, a associação entre os indicadores e as categorias permitiu a formulação de uma matriz de análise (Figura 1), que revela onde cada critério é aplicado.

CATEGORIAS ANALÍTICAS	INDICADORES DE FLEXIBILIDADE							CLASSE DE FLEX.
	A-Adaptação	B-Ampliação	C-Diversidade	D-Junção e desmembramento	E-Personalização	F-Circularidade	G-Independente	
1 - Terreno		1						Nem um pouco flexível (0)
2 - Circulação	2	2	1	1				Pouco flexível (10-30%)
3 - Organização espacial	2	2	3	1	2			Flexibilidade limitada (>30-60%)
4 - Tecnologia	4			2	1	2		Muito flexível (>60%)
5 - Caixa Mural	1				1			Muito flexível (>60%)
6 - Difusão do conhecimento							2	Nem um pouco flexível (0)
Nº total de critérios	9	5	4	4	4	2	2	
CLASSE DE FLEX.	Nem um pouco flexível (0)	Nem um pouco flexível (0)	Nem um pouco flexível (0)	Nem um pouco flexível (0)	Nem um pouco flexível (0)	Nem um pouco flexível (0)	Nem um pouco flexível (0)	

Figura 1: Matriz de análise

Observou-se que os critérios avaliam uma miríade de variáveis que, quando quantificadas, resultam em números muito distintos, tornando pertinente o uso de uma faixa de valoração a qual indica um juízo de valor, em vez de atribuir apenas um ponto a cada critério. Nesse sentido, foi adotada e adaptada a escala de avaliação do FLEX 4.0, um instrumento prático para avaliar a capacidade adaptativa dos edifícios na Holanda [3]. Assim, cada um dos 30 critérios é avaliado, variando de 0 a 3 pontos, onde cada valor corresponde a uma percentagem de cumprimento do projeto, sendo: 0 = Não atende; 1 = 10 a 30% atende; 2 = > 30-60% atende; 3 = >60% atende. Todavia, em alguns critérios, esse padrão sofreu pequenos ajustes.

Igualmente, as classes de flexibilidade do FLEX 4.0 [3] foram empregadas e reestruturadas. Desse modo, o somatório dos critérios vinculados à categoria analítica ou ao indicador eleito determina a classe de flexibilidade (Figura 1), que varia de Nem um pouco flexível (0), Pouco flexível (10-30%), Flexibilidade limitada (>30-60%), e Muito flexível (>60%). Para exemplificar, o indicador A-Adaptação, que possui nove critérios e uma escala de 0 a 27 pontos; caso um projeto obtenha 10 pontos, atingirá o patamar de 37%, classificando-se como Flexibilidade Limitada. Considerando ainda que o número de critérios difere em todas as categorias e indicadores, pesos distintos foram determinados para obter uma mesma faixa (0 a 6), o que possibilita compará-los e representá-los em um único gráfico radar. Todavia, o perfil final de flexibilidade do edifício é dado pela soma integral dos critérios, independentemente da aplicação desses pesos.

Para cada critério, foi elaborada uma proposta de algoritimização com a finalidade de convertê-lo em um algoritmo executável no ambiente BIM. Assim, adotou-se o procedimento de Godoi [19], o qual delineia os passos básicos para identificação de variáveis e parâmetros em textos arquitetônicos e sua posterior tradução em sentenças matemáticas. O fluxograma na Figura 2 ilustra uma das propostas.

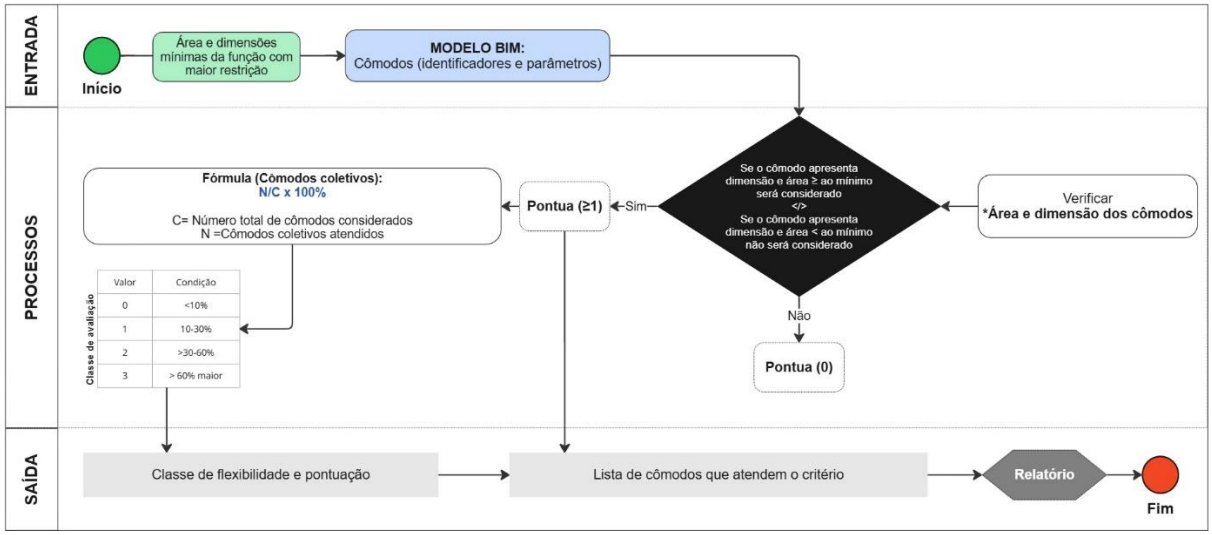


Figura 2: Proposta de algoritimização do critério: Equivalência dimensional e morfológica em cômodos coletivos: Proposição de espaços, com áreas e formas proporcionais, que conferem diferentes funções.

Em síntese, o algoritmo fundamenta-se em três etapas: entrada, processamento e saída. Na entrada, ocorre a seleção (*Input: bool*) do critério, representando o início, mais a definição do "parâmetro analítico", no exemplo eleito a área e dimensões mínimas da função com maior restrição, e a inserção o modelo BIM. No processamento, com base nos parâmetros de entrada, realiza-se a validação dos dados geométricos, como as dimensões do compartimento, e não geométricos, como nome e categoria de uso dos ambientes. Assim, os dados extraídos do modelo são filtrados, confrontados e submetidos a uma operação matemática que calcula a percentagem de aderência do projeto ao critério elencado. Em seguida, na saída, os resultados são estruturados em duas direções: uma revela a classe de flexibilidade, enquanto a outra lista os itens que atendem ao critério. Ao final, essas informações são consolidadas no relatório
Adicionalmente, o desenvolvimento do Resil envolveu a conversão de cada algoritmo em uma rotina, ou seja, em um *script* dentro do Dynamo - ferramenta de Linguagem de Programação Visual (VLP) acoplada à plataforma BIM – Revit. O conjunto de rotinas foi organizado conforme os indicadores de desempenho e as categorias analíticas. Com essa estruturação, é possível no ambiente digital verificar automaticamente um ou todos os critérios de uma mesma categoria ou indicador. Em paralelo, foram criadas rotinas voltadas a otimizar tarefas nessa plataforma, como a inserção de parâmetros na geometria.
A seleção dos programas mencionados justifica-se pela capacidade de responder aos propósitos da investigação, pela experiência prévia da autora no manuseio e pelo fato de serem disponibilizados gratuitamente pelo fabricante Autodesk para fins acadêmicos. Ademais, o Revit é uma plataforma intuitiva, com interface amigável, e a produção de desenhos no seu ambiente apresenta resultados gráficos notáveis [20]. Por outro lado, os arquivos de rotinas em Dynamo são facilmente partilháveis e ajustáveis a diferentes parâmetros [21], o que facilita o seu uso por parte de investigadores e projetistas que nem sempre têm conhecimentos avançados em programação e capital para adquirir novos recursos digitais.
Acresce-se que a plataforma elencada requer o uso de *template*, isto é, um ficheiro-tipo do programa, selecionado consoante a disciplina. Este pode ser personalizado para incorporar elementos construtivos, componentes de documentação e configurações que otimizem a modelação e o cumprimento dos requisitos [22]. Assim, trata-se de um recurso crucial à

modelação que foi construído nesta investigação a partir do material destinado a projetos de habitação social no contexto brasileiro, de Logsdon e Fabrício [23]. Considerando que estruturar um *template* e a sua biblioteca exige tempo [20], a utilização de outra base otimizou o cronograma de elaboração do Resil.
Por fim, os últimos passos da elaboração do Resil consistiram em: a) revisão das rotinas relacionadas aos critérios a fim de compatibilizá-las com as métricas mencionadas e b) criação de uma rotina mestra que permite a transferência dos resultados numéricos da avaliação no ambiente de modelagem para o Excel. Com esse intuito, foi necessária a criação de um arquivo base no formato XLS, que recebe os dados e os apresenta na forma de relatório, matriz e gráficos, ilustrando o desempenho de cada indicador, categoria e critério verificado. O próximo item detalhará os principais passos do funcionamento do Resil.

2.2. Processos

O funcionamento do Resil é composto por quatro etapas, mediadas pelo uso de aplicativos e de objetos de dados os quais indicam um conjunto de informações estruturadas e separadas como entrada (requisitos) e saída (entregas). O fluxo de trabalho inicia-se com a seleção do projeto e coleta de dados (1), compreendendo o levantamento de material técnico, gráfico e fotográfico. Na posse do conteúdo, é feito o Redesenho (2) em BIM, para gerar planos bidimensionais e o modelo de informação. Esta etapa permite a construção e a desmontagem analítica da obra em análise, e é executada na plataforma BIM, a partir de um *template* (a) próprio. O processo de modelação é otimizado, utilizando rotinas do Dynamo que auxiliam, principalmente, na inserção de parâmetros, e um suplemento de Inteligência Artificial, o "WiseBIM", que converte instantaneamente planos arquitetônicos 2D - por exemplo, imagens de plantas de piso - em elementos 3D no Revit.
Por meio de percursos virtuais sobre o modelo, resultado da etapa 02, e uso de tabelas e filtros visuais com recursos de cores e transparência, é realizada a Auditoria (3), que consiste na verificação da qualidade do modelo e das suas informações. Nesse sentido, procura-se a identificação de inconsistências, elementos soltos, duplicados ou desconectados e a análise da geometria. Ao mesmo tempo, os parâmetros são conferidos, julgando-se se estão corretos, ausentes ou inseridas de maneira incorreta. Tais falhas podem comprometer a avaliação. Caso o resultado da auditoria seja negativo, é necessário reconhecer os erros e/ou omissões, voltar à etapa anterior e realizar correções. Em caso positivo, inicia-se a próxima e última etapa.
A Avaliação (4) é conduzida dentro da plataforma BIM por intermédio da aplicação do conjunto de rotinas, intitulado aqui de Resil 1.0 (b). Neste, o primeiro passo é o preenchimento do nome do empreendimento. O segundo é escolher a categoria analítica ou indicador, depois selecionar os critérios que se deseja avaliar, definir o arquivo e o caminho onde será salvo o relatório final e pressionar o "play", o qual ativa as rotinas relacionadas com os critérios marcados. Embora o instrumento proporcione agilidade e a otimização do processo avaliativo, certas ações manuais e verificações visuais sobre o modelo são necessárias.
Algumas dessas tarefas são facilitadas pela aplicação de filtros que destacam, a título de ilustração, as áreas de circulação vertical e horizontal e áreas com instalações hidrossanitárias. Apesar das particularidades mencionadas, a avaliação é majoritariamente automatizada com o uso do conjunto de rotinas - Resil 1.0 (b). Ao final, é emitido o relatório com os resultados em forma de matriz, gráficos de barra, pizza e radar, além de números que expressam o desempenho atingido por cada indicador, categoria e critério escolhido. Para exemplificar o funcionamento

do procedimento Resil, o próximo tópico demostra o estudo piloto realizado nesta etapa da investigação.

3. Estudo-Piloto

Durante o desenvolvimento do procedimento Resil, foram realizados testes em pilotos (projetos), com o intuito de validar seu funcionamento e efetuar ajustes. A seleção desses pilotos orientou-se por cinco critérios: (1) Tipo de construção – novas construções, em detrimento de propostas de reabilitação de edifícios históricos; (2) Cronologia - foco na produção contemporânea; (3) Perspectiva morfológica – edificações com características formais análogas, especialmente em relação ao gabarito e à quantidade de apartamentos; (4) Acessibilidade documental - acesso aos dados gráficos e não gráficos; (5) Conceitos: Preconização dos termos adaptabilidade e flexibilidade pelos projetistas. Neste artigo será apresentado um dos estudos-pilotos executado.

3.1. Het Schetsblok, Amsterdã, 2017

O piloto, "Het Schetsblok" (Figura 4), localiza-se em Amsterdã e foi construído em 2017. Possui 3.600 m² de área construída, distribuídos entre seis pisos, e 27 apartamentos com áreas que variam de 46 m² a 150 m². Não há áreas coletivas, exceto as de circulação e estacionamento. Em 2019, foi premiado como "Edifício Holandês do Ano" e, desde então, é considerado um dos casos exemplares do grupo *OpenBuilding*. Este coletivo de arquitetos defende a ideia de prolongar a longevidade e a adaptabilidade do espaço projetado por meio da aplicação do conceito de Construção Aberta (ou *Open Building*). Tal conceito fundamenta-se no Princípio de Suporte e Preenchimento de Habraken (1961), que reconhece a existência de ciclos de vida distintos entre os diferentes componentes construtivos. Como resultado dessa abordagem projetual, a edificação incorpora aspectos e estratégias de flexibilidade e cria as bases para uma economia circular na construção.

No piloto, foi levado a cabo o redesenho em BIM (Figura 5) e a avaliação de todas as categorias analíticas, exceto a do Terreno. Esta exclusão justifica-se pela indisponibilidade de dados quanto à implantação e às condições do subsolo (estacionamento). Com base na classificação da flexibilidade do Resil, os resultados indicaram os seguintes níveis para as categorias avaliadas: Pouco flexível: Circulação e Difusão de conhecimento; Flexibilidade Limitada: Caixa Mural;. Muito flexível: Organização espacial e tecnologia. Adicionalmente, o projeto obteve 49 pontos, após responder positivamente 20 dos 30 critérios estabelecidos, o que culminou em uma nota de 54,4%, apresentando o nível de Flexibilidade Limitada. Embora não tenha alcançado a classe máxima, o resultado é considerado positivo, dada a quantidade de critérios atendidos, indicando a confiabilidade no procedimento proposto.



Figura 4: Edifício Het Schetsblok - Piloto. Fonte: https://www.openbuilding.co/schetsblok-ana



Figura 5: Modelo BIM - Piloto. Fonte: Elaboração própria

Conforme visto na Figura 6, os indicadores de flexibilidade com maior expressividade são: Junção e Desmembramento: 75%; Personalização: 67%; Diversidade: 58%; Adaptação: 56%. Com expressão mediana, incluem-se: Ampliação: 47%; e Circulação: 33%. O indicador com menor expressividade é a Difusão do Conhecimento, com 17%. Não obstante os percentuais de desempenho supracitados, ao considerar o perfil de flexibilidade ponderado (fração relativa ao total), as maiores contribuições observadas são: Adaptação: 31%; Junção e Desmembramento/Personalização: 19% (cada); Ampliação/Diversidade: 14% (cada).

RESIL

NOME DO PROJETO	Edifício Het Schetsblok									
RESULTADO										
CATEGORIAS	INDICADORES									CLASSE DE FLEXIBILIDADE
	A-ADAPTAÇÃO	B-AMPLIAÇÃO	C-DIVERSIDADE	D-JUNÇÃO E DESMEMBRAMENTO	E-PERSONALIZAÇÃO	F - CIRCULARIDADE	G-INDEPENDENTE	SCORE	MAX.	
1 - TERRENO		0						0	3	Nem um pouco flexível
2 - CIRCULAÇÃO	0	2	1	0				3	18	Pouco flexível
	0	0								
3 - ORGANIZAÇÃO ESPACIAL	0	3	3	3	2			22	30	Muito flexível
	3	2	3		3					
			0							
4 - TECNOLOGIA	3			3	3	1		20	27	Muito flexível
	3			3		1				
	0									
	3									
5 - CAIXA MURAL	3				0			3	6	Flexibilidade limitada
6 - DIFUSÃO DE CONHECIMENTO							0	1	6	Pouco flexível
							1			
SCORE	15	7	7	9	8	2	1	49		
MAX.	27	15	12	12	12	6	6	90		
Nível de flexibilidade por indicador	56%	47%	58%	75%	67%	33%	17%			
Fração do indicador na flexibilidade	17%	8%	8%	10%	9%	2%	1%			
							PERFIL DE FLEXIBILIDADE	49	54,4%	Flexibilidade limitada

Legenda de cor do status				
	Não atende	10 a 30% atende	30-60% atende	60% atende
	Nem um pouco flexível	Pouco flexível	Flexibilidade limitada	Muito flexível

Figura 6: Relatório Resil – Edifício Het Schetsblok. Fonte: Elaboração própria

Adicionalmente, destacam-se alguns dos critérios que tiveram pontuação máxima. Entre estes, o critério 3C.10 (Variedade de tipos de unidades habitacionais) e 3C.20 (Variedade de tamanhos das unidades habitacionais), os quais atestam a capacidade do projeto em proporcionar uma diversidade de soluções espaciais e, assim, atender a diferentes agrupamentos. Destaca-se também o critério 3E.20 (A circulação e as áreas molhadas estão próximas, formando núcleos

que permitem a liberação de áreas periféricas para a criação de espaços neutros e multifuncionais), o qual revela que o arranjo em núcleos maximiza a flexibilidade do *layout*, ao mesmo tempo em que otimiza a infraestrutura hidrossanitária. No mesmo sentido, os critérios 4A.10 (A distância entre os eixos estruturais resulta em grandes vãos), 4A.40 (A estrutura é independente das vedações) e 5A.10 (A fachada é livre, neutra ou independente, oposto a fachada funcional), que facilitam a reconfiguração interna ao longo do tempo.

4. Considerações finais

O presente manuscrito cumpre o objetivo ao apresentar o Resil por meio da sua aplicação experimental em um estudo-piloto, anunciado pelos seus autores com um caso exemplar de projeto que expressa características e estratégias da flexibilidade. Os resultados mostraram o funcionamento do artefato proposto e dos recursos que o suportam, mas também o validaram e revelaram tanto as suas limitações, como das ferramentas empregadas. Importa, contudo, reforçar que antes desse estudo-piloto foram feitos diversos ensaios pontuais e parciais em outros projetos, o que implicou melhorias nas rotinas, no *template* e no formato do relatório, bem como numa revisão das métricas estabelecidas que foram adotadas nesta etapa e apresentadas neste artigo.

O experimento confirma que é possível utilizar o BIM para análise e avaliação de projetos a partir da especificação e detalhamento de requisitos, e que a sua associação à programação automatiza o processo avaliativo e facilita o cálculo de cada indicador de desempenho. Todavia, é interessante mencionar que o procedimento Resil não se constitui apenas pela aplicação de ferramentas digitais. Há um conjunto de processos e atividades articuladas, que permitem a verificação da flexibilidade dentro de um contexto específico, no caso, edifícios multifamiliares. Ao mesmo tempo, é primordial preparar o modelo e sistematizar os dados de entrada (geométricos e não geométricos) para que as respostas sejam adequadas e consistentes, assim como é imprescindível o papel do avaliador na avaliação final, cuja importância se dá na leitura dos resultados, sobretudo aqueles que decorrem de critérios subjetivos e complexos. Reforçando, assim, a visão de Sacks *et al* [20], que no BIM a verificação manual e a automática têm caráter complementar.

A maior contribuição da investigação consiste em revelar um caminho para avaliação e análise de projetos, auxiliado por BIM e Programação visual, que se propõe subsidiar o processo projetual e que incorpora um atributo, o qual proporciona ao ambiente construído mais resiliência e sustentabilidade. Pretende-se avançar o estudo, aplicando o procedimento em um conjunto de edificações reconhecidas pela crítica e produzidas recentemente no Brasil e em Portugal, a fim de aprimorar esse artefato e identificar soluções exemplares, e, com isso, somar ao Resil um banco de direcionamentos projetuais, em termos espaciais, formais e funcionais. Propõe-se, ainda, realizar oficinas direcionadas a arquitetos para validar sua usabilidade.

Agradecimentos

Agradecemos aos revisores anônimos por seus comentários construtivos que contribuíram para o aprimoramento deste artigo e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES), especialmente, o Programa de Doutorado Sanduíche no Exterior (PDSE) pelo apoio durante a realização desse trabalho.

Referências

[1] M. M. Al-Humaiqani and S. G. Al-Ghamdi, "The built environment resilience qualities to climate change impact: Concepts, frameworks, and directions for future research," *Sustainable Cities and Society*, vol. 80, p. 103797, 2022, doi: 10.1016/j.scs.2022.103797.

[2] K. C. R. De Bortoli and S. B. Villa, "Conforto ambiental como atributo da resiliência em habitações de interesse social brasileiras," *Revista Projetar - Projeto e Percepção do Ambiente*, vol. 5, no. 3, pp. 126–140, 2020, doi: 10.21680/2447-5351.2020v5n3p126-140.

[3] R. Geraedts, "FLEX 4.0, um instrumento prático para avaliar a capacidade adaptativa de edifícios," *Energy Procedia*, vol. 96, pp. 568–579, 2016, doi: 10.1016/j.egypro.2016.09.102.

[4] E. J. Garcia and B. Vale, *Unravelling Sustainability and Resilience in the Built Environment*. New York, NY, USA: Routledge, 2017.

[5] H. Silva, C. Rodrigues, and H. Farias, "Resiliência em projetos de habitação social de concursos de arquitetura em Portugal e no Brasil (2013–2023): avaliação da flexibilidade, adequação ambiental e conforto," *Sustainability*, vol. 17, no. 12, p. 5559, 2025, doi: 10.3390/su17125559.

[6] C. Cavalliere *et al.*, "BIM-based assessment metrics for the functional flexibility of building designs," *Automation in Construction*, vol. 107, p. 102849, 2019, doi: 10.1016/j.autcon.2019.102849.

[7] H. A. Costa *et al.*, "Flexibilidade em projetos de arquitetura: contribuições a partir de uma revisão sistemática da literatura," *PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção*, vol. 8, no. 3, p. 144, 2018.

[8] H. L. Farias, "Para um habitar mais versátil, diversificado e inclusivo," em *Anais do IX Seminário Internacional Projectar*, Curitiba, Brasil, 2019.

[9] D. Q. Brandão, "Diversidade e potencial de flexibilidade de arranjos espaciais de apartamentos: uma análise do produto imobiliário no Brasil," Ph.D. dissertation, Univ. Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil, 2002.

[10] T. Schneider and J. Till, *Flexible Housing*. London: Architectural Press, 2007.

[11] T. Bergevoet and M. van Tuijl, *The Flexible City: Solutions for a Circular and Climate Adaptive Europe*. Rotterdam, Netherlands: nai010, 2023.

[12] F. V. M. Parreira, "Estratégias de flexibilidade orientadas ao usuário como facilitador da resiliência em habitação de interesse social," M.S. thesis, Univ. Federal de Uberlândia, Uberlândia, Brasil, 2021.

[13] L. Paulichen *et al.*, "Resilience in architecture: Housing as a process," *Strategic Design Research Journal*, vol. 12, no. 2, pp. 383–401, 2019, doi: 10.4013/sdrj.2019.122.13.

[14] S. Brand, *How Buildings Learn: What Happens After They're Built*. London, UK: Penguin Books, 1994.

[15] F. D. K. Ching, *Arquitetura: Forma, Espaço e Ordem*. São Paulo, Brasil: Martins Fontes, 2002.

[16] G. H. Baker, *Análisis de la Forma: Urbanismo y Arquitectura*. São Paulo, Brasil: Editorial Gustavo Gili, 2006.

[17] R. H. Clark and M. Pause, *Arquitectura: Temas de Composición*. Barcelona, Spain: Gustavo Gili, 1983.

[18] A. Tagliari, *Frank Lloyd Wright: Princípio, Espaço e Forma na Arquitetura Residencial*. São Paulo, Brasil: Annablume, 2011.

[19] G. Godoi, "Procedimentos algorítmicos: o método albertiano," in *Arquitetura Contemporânea e Automação: Prática e Reflexão*, 1st ed., G. Celani and M. Sedrez, Eds. Brasil: ProBooks, 2018.
[20] R. Sacks et al., Manual de BIM: Guia de Modelagem da Informação da Construção para Proprietários, Projetistas, Engenheiros, Contratantes e Gerentes de Instalações, 3rd ed. Porto Alegre, Brasil: Bookman, 2021.
[21] J. Aida et al., "Verificação de acessibilidade em escadas com BIM," in 5º Congresso Português de Building Information Modelling: ptBIM, vol. 1. Guimarães, Portugal: UMinho Editora, 2024.
[22] G. Valente, "A importância de um template em projeto BIM," in *5º Congresso Português de Building Information Modelling: ptBIM*, vol. 1. Guimarães, Portugal: UMinho Editora, 2024.
[23] L. Logsdon and M. M. Fabrício, "Instrumentos associados de apoio ao processo de projeto de moradias sociais," *Ambiente Construído*, vol. 20, no. 2, pp. 401–423, Jun. 2020.

12345

COORDENAÇÃO BIM E ANÁLISE DE DADOS APLICADOS EM UMA EMPRESA DO SETOR DE VAREJO BRASILEIRO

Ítalo Santos, Melquisedeque Fragroso, Kirlia Lima,
Stephan Strauß, Felipe Reis

ptBIM

COORDENAÇÃO BIM E ANÁLISE DE DADOS APLICADOS EM UMA EMPRESA DO SETOR DE VAREJO BRASILEIRO

Ítalo Santos[(1)], Melquisedeque Fragroso [(2)], Kirlia Lima [(2)], Stephan Strauß [(2)], Felipe Reis [(1)]

(1) Universidade Federal de Pernambuco, Várzea - Recife - PE,0000-0003-4071-246X
(2) Home Center Ferreira Costa, Imbiribeira - Recife - PE, 0009-0002-0153-9246
(2) Home Center Ferreira Costa, Imbiribeira - Recife - PE, 0009-0008-0930-4648
(2) Home Center Ferreira Costa, Imbiribeira - Recife - PE, 0009-0000-0275-2773
(1) Universidade Federal de Pernambuco, Várzea - Recife - PE, 0009-0004-7897-2771

Resumo
O setor de varejo desempenha um papel importante no desenvolvimento econômico do Brasil. Este trabalho, apresenta resultados alcançados pertinente a coordenação de projeto, acompanhamento de obra e monitoramento de indicadores junto ao grupo Home Center Ferreira Costa & Cia Ltda, o maior home center do nordeste brasileiro. Fundado em 1884 pelo imigrante português João Ferreira da Costa, atualmente a organização possui nove unidades de negócio e um centro de distribuição distribuídos em cinco estados brasileiros (PE, SE, BA, RN e PB). A partir da utilização da abordagem metodológica Design Science Research, esse artigo apresenta o avanço da maturidade BIM das equipes de projetos e execução de obras na operacionalização de Usos BIM aplicados em duas unidades de negócio do grupo, o Centro de Distribuição localizado na cidade do Cabo de Santo Agostinho-PE com área construída de 112.458,03m² e uma ampliação da unidade de negócio da Imbiribeira em Recife-PE (área técnica) com área construída de 3.708,91m². Os resultados preliminares apresentados neste trabalho, revelam o potencial de operacionalizar usos BIM na fase de execução de obras, manutenção e operação técnica, o estabelecimento preliminar de processos e indicadores estratégicos de negócio, permitiram que a organização vislumbre um novo horizonte de gestão digital dos Modelos de Informação de Projeto (PIM) baseado na análise de dados.

1. Introdução

1.1 Breve contextualização sobre o Grupo FC

O grupo Ferreira Costa possui uma trajetória histórica marcada pela longevidade e constante adaptação às transformações do mercado do setor varejista brasileiro. Criada no final do século XIX, na cidade de Garanhuns-PE, pelo português João Ferreira da Costa, a empresa evoluiu de um armazém de ferramentas para uma das maiores redes varejistas de materiais de construção

do Nordeste, operando atualmente múltiplas unidades de negócio e um centro de distribuição estrategicamente localizado na região.

Ao longo de sua expansão, a Ferreira Costa passou a lidar com diversos desafios relacionados a coordenação de projetos, acompanhamento de obra e manutenção e operação dos seus ativos, levando a necessidade de adotar práticas mais integradas, orientadas por dados e apoiadas por tecnologias digitais. Diante desse cenário, foi adotada a metodologia *Building Information Modelling (*BIM), em português, Modelagem da Informação da Construção (BIM), visando o avanço do nível de maturidade das equipes e a aplicação estruturada de usos BIM.

1.2 Breve contextualização implementação BIM na Organização

O processo de implementação BIM na Ferreira Costa teve início em 2022, a partir da definição de uma estratégia voltada a transformação digital dos processos de projeto, obra e gestão de ativos, tendo como primeiro projeto piloto a 9º (nona) unidade de negócio do grupo, a Ferreira Costa Barris, localizada no Estado da Bahia. As primeiras etapas concentraram-se no diagnóstico do nível de maturidade, na definição de diretrizes e na capacitação das equipes envolvidas, estabelecendo base para a adoção progressiva da metodologia. A experiência adquirida nesse primeiro projeto piloto foi fundamental para consolidar práticas, processos e políticas internas relacionadas ao uso do BIM e possibilitou um avanço significativo no processo de amadurecimento organizacional na metodologia [1].

Com base nos aprendizados obtidos no primeiro projeto piloto, a metodologia BIM passou a ser aplicada em novos empreendimentos do grupo, ampliando seus usos. Nesse contexto, este artigo analisa a aplicação dos Usos BIM em dois empreendimentos estratégicos: o Centro de Distribuição (CD Cabo), localizado no município do Cabo de Santo Agostinho-PE e a ampliação técnica da unidade Ferreira Costa Imbiribeira, em Recife-PE. Esses projetos, diante de novos desafios, representam avanços na maturidade BIM da organização, operacionalizando usos na obras, manutenção e operação dos ativos, e estabelecendo processos e indicadores que apoiam a gestão digital baseada em dados.

1.3 Concepção e Coordenação de edifícios Home Center

Os home centers, surgiram no final da década de 1970, nos Estados Unidos, fruto de uma longa evolução de edifícios voltados para o comércio e serviços que alguns autores denominam de arquitetura de negócios [2]. A busca pelo desenvolvimento desses edifícios, demanda de um esforço considerável visando integrar diferentes interfaces no âmbito arquitetônico, sociocultural, econômico, territorial e visual. A Figura 1 exibe o caráter complexo de conhecimento que um edifício varejista demanda.

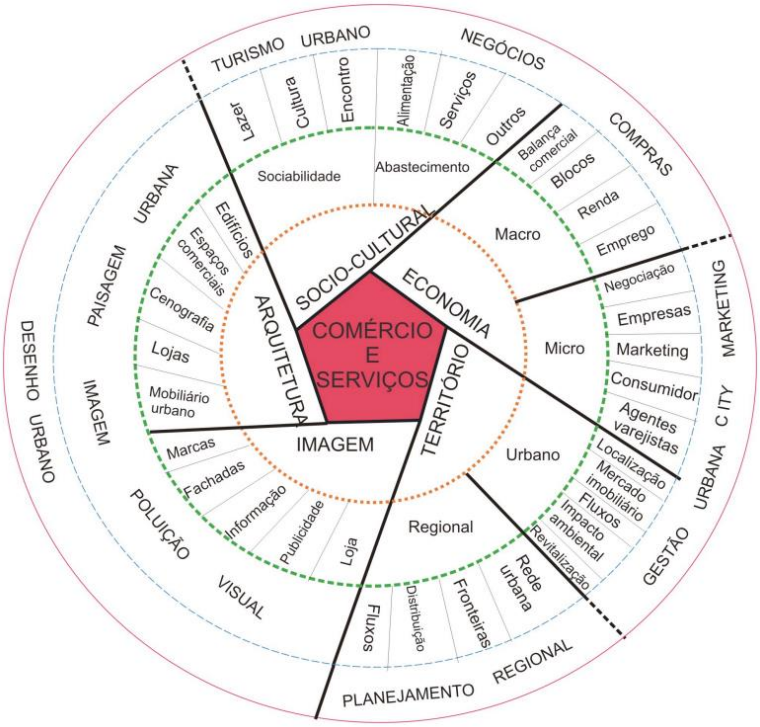


Figura 1: Comércio e Serviços Varejistas [2]

Diante da complexidade inerente ao desenvolvimento de um projeto do setor de varejo, tendo os espaços constituídos por um complexo de conjuntos de elementos que influenciam respostas e comportamentos, que podem promover a satisfação ou insatisfação aos usuários do espaço, compreendido em três dimensões: I) condições ambientais, II) leiaute e funcionalidade e III) sinais, símbolos e artefatos [3].

Intríseco a etapa de concepção do projeto, está a atividade associada à coordenação de projetos, segundo [4] esta trata-se de uma atividade de suporte ao desenvolvimento do processo de projeto orientada para a integração dos requisitos e das decisões de projeto. Esta deve ser exercida durante todo o processo de projeto tendo como objetivo promover a interatividade na equipe de projeto e melhorar a qualidade dos projetos desenvolvidos.

A Figura 2 exibe como se dá a interação entre o coordenador de projetos junto aos demais profissionais, com ênfase em organizar, planejar e coordenar as soluções desenvolvidas, garantido que as soluções estejam conforme os objetivos estabelecidos pelo cliente.

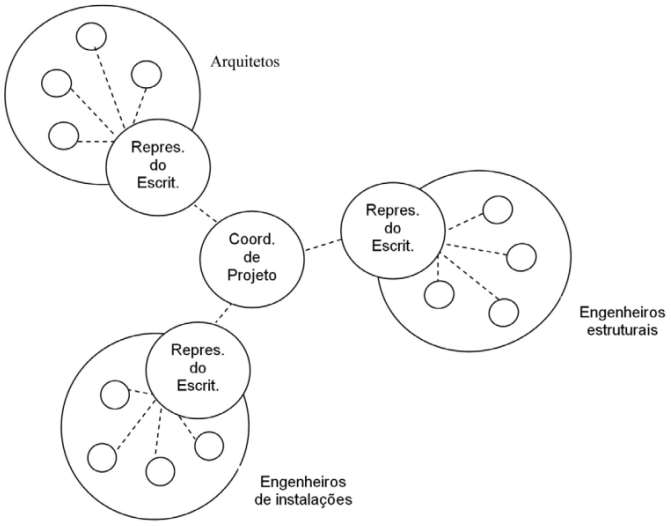


Figura 2: Interação entre o coordenador de projetos e demais profissionais [5]

Para desempenhar com êxito esse papel, o coordenador de projetos necessita dispor de algumas habilidades e conhecimentos específicos, dentre eles: conhecimento sobre gestão de projetos, gestão de pessoas, planejamento, gestão da informação, ter a capacidade de solucionar conflitos, realizar negociações dentre outras competências.
No âmbito do Home Center Ferreira Costa, o processo de coordenação dos projetos já era realizado desde a construção das primeiras unidades de negócio do grupo, baseado na sobreposição de desenhos técnicos (2D) e expertise dos stakeholders, porém, nos últimos anos, desde que a organização iniciou o processo de implementação da Modelagem da Informação da Construção (BIM) em seus processos de negócio, o ato de coordenar foi sendo aprimorado com base nas potencialidades deste novo paradigma que se beneficia de Modelos de Informação de Projeto (PIM) como fidedignos protótipos virtuais das obras em andamento.

2. Metodologia

Para este trabalho, foi escolhido a abordagem metodológica *Design Science Research* (DSR), conhecida também como *Constructive Research,* trata-se de uma abordagem direcionada para a solução de problemas. *S*egundo [6] a DSR refere-se a um processo rigoroso, visando conceber artefatos para solucionar problemas, avaliar o que foi projetado ou o que está funcionando, e comunicar os resultados alcançados. Para a viabilização desta metodologia, são propostas cinco etapas [7] 1) Conscientização,2) Sugestão, 3) Desenvolvimento, 4) Avaliação e 5) Conclusão.
A etapa da **Conscientização** foi realizada quando a organização iniciou o processo de implementação do BIM, onde foi realizado um diagnóstico visando identificar as potencialidades de Usos BIM para que a organização tirasse proveito.
A etapa de **Sugestão** e **Desenvolvimento**, foram realizadas na etapa de elaboração do Plano de Implementação BIM, onde foi possível propor a lista de Usos BIM potenciais a serem explorado nos projetos pilotos. A etapa de **Avaliação**, foi realizada com base na aplicação de um questionário semiestruturado junto as equipes de projeto que atuaram nos 2 estudos de casos definidos: 1) Centro de Distribuição e II) Edifício de Utilidades (anexo a unidade de negócio

da Imbiribeira - PE), visando identificar os ganhos que houve pertinente ao Uso BIM associado a Coordenação de Projetos. Por fim, a etapa **Conclusão** está apresentada na última seção deste trabalho, evidenciando os benefícios alcançados os desafios a serem superados e as generalizações para trabalhos futuros.

3. Coordenação de Projetos BIM - Home Center Ferreira Costa

Para este trabalho, foram escolhidos dois estudos de caso no qual a organização realizou o processo de coordenação utilizando PIM, sendo: I) Centro de Distribuição e II) Edifício de Utilidades, nos parágrafos seguintes descrevem brevemente ambas edificações.

3.1 Centro de Distribuição

O Centro de Distribuição (CD), situado na cidade do Cabo de Santo Agostinho, refere-se a uma obra de grande porte abrangendo 112.458,03m² de área construída dotada de uma infraestrutura composta por sistema viário de acesso, guarita, depósito, almoxarifado e o centro de distribuição, situado em um terreno de 474.051,67m². Neste empreendimento, foi criado um modelo federado com 23 modelos autorais, permitindo que fosse possível avançar com o Uso BIM associado à Coordenação.



Figura 3: Vista geral do CD: modelo BIM federado (à esquerda) e registro fotográfico do empreendimento em execução (à direita). Autores (2026)

3.2 Edifício Utilidades

O segundo estudo de caso, trata-se de um Edifício Utilidades que está sendo construído anexo a unidade de negócio da Imbiribeira, Recife – PE, abrangendo 3.708,91m², no qual houve a necessidade de realizar a ampliação da loja visando abrigar novas instalações de equipamentos mecânicos, dentre eles: sala de subestação, sala de chiller, sala de geradores, sala fotovoltaica, fancoils, torres de resfriamento, dentre outros ambientes operacionais demandados.

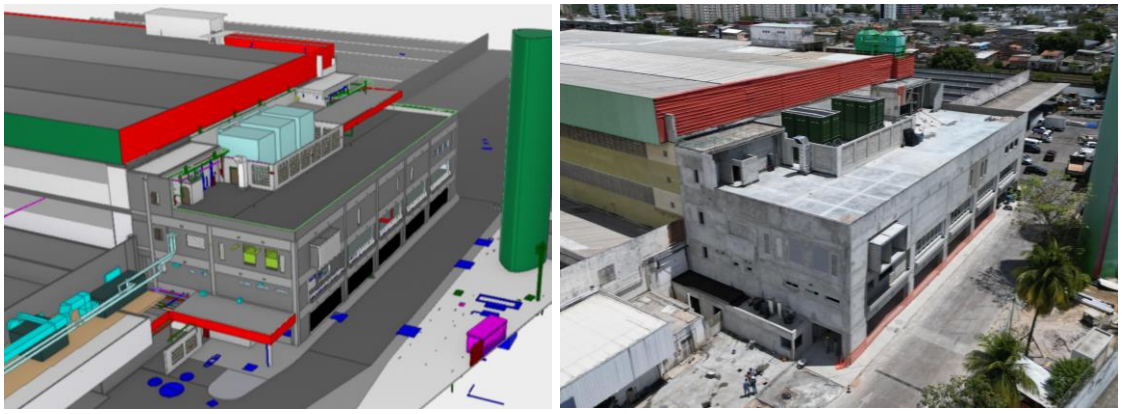


Figura 4: Vista geral do Edifício de Utilidades: modelo BIM federado e registro fotográfico do empreendimento em execução. Autores (2026)

3.3 Processo de Coordenação de Projetos em BIM

O processo de coordenação de ambos projetos, partiu da premissa em revisar os PIM dos projetos estabelecidos, visando validar os aspectos do projeto, execução da obra e dados pertinente a manutenção e operação. O Uso BIM pertinente a Revisão de Projeto [8] permitiu avaliar os PIM's dentro do Ambiente Comum de Dados (CDE) Trimble Connect. Dentre os objetivos principais, foram estabelecidos: i) criar um processo de coordenação mais eficiente, ii) avaliar digitalmente a eficácia do projeto quanto ao atendimento aos critérios construtivos adotados pela organização, iii) analisar o atendimento das soluções dos projetos as normas vigentes, iv) facilitar a comunicação junto aos stakeholders envolvidos no projeto / execução da obra e vi) utilizar o PIM visando dar maior suporte a equipe de obra nas tomadas de decisões e reduzir conflitos no canteiro de obra.

Visando facilitar o processo de coordenação, ambos projetos foram compartilhados no CDE Trimble Connect (TC), uma ferramenta de colaboração em nuvem de PIM que permite compartilhar modelos autorais BIM e documentos, visando maximizar a produtividade das equipes, permitindo criar fluxos de trabalhos aprimorados a partir do uso de ferramentas que possibilitam navegar no modelo e fazer o registro de ocorrências (ToDo), a Figura 5 exibe do lado esquerdo uma imagem com a lista das ocorrências registradas no TC, a imagem no lado direto exibe uma ocorrência criada no TC contendo no lado direito uma descrição sobre a ocorrência, prioridade estabelecida, stakeholders envolvidos na ocorrência e TAG's associadas as informações gerais e localização da ocorrência.

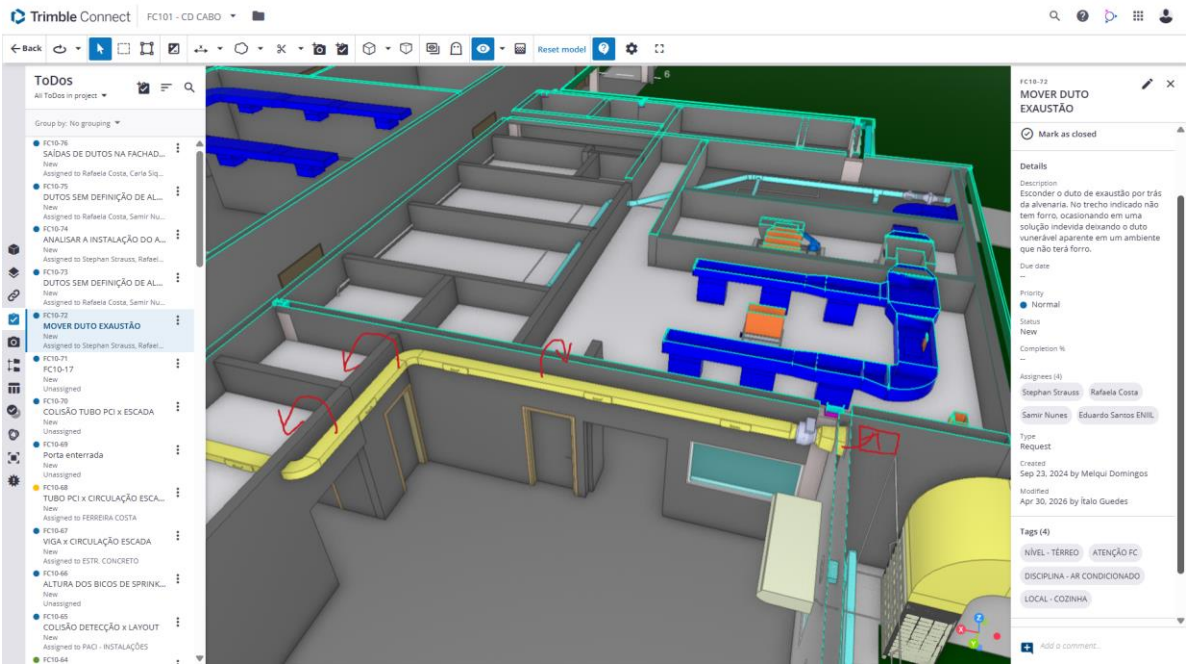


Figura 5: Registro de ocorrências (issue) no Trimble Connect. Autores (2026)

4. Análise de Dados

A partir do estabelecimento do processo de coordenação BIM, foi possível avançar em um processo de análise de dados dividido em seis etapas: I) compreender o tipo / natureza dos dados, II) preparar os dados, III) utilizar os dados para criação de gráficos responsivos, IV) criar um dashboard responsivo, V) visualizar / analisar os dados e VI) disponibilizar o dashboard para as equipes envolvidas.

Nas quatro primeiras etapas, foi criada uma integração entre o TC e o software Excel, via integração API, permitindo estruturar um banco de dados. Uma vez criado o banco de dados, foi possível criar no software Power BI da Microsoft um dashboard visual responsivo (etapa V) visando apresentar os resultados atrelados ao processo de coordenação BIM (etapa V). A Figura 6 exibe um painel visual (etapa VI) contendo informações associadas ao processo de coordenação BIM da obra do Centro de Distribuição (CD) - edifício almoxarifado central, todos os gráficos foram gerados a partir dos dados que foram extraídos automaticamente do TC via API integrada com o Power BI com fluxo de atualização diária (a cada 6h).

A Figura 6 exibe no canto direito gráfico de barras horizontais evidenciando a distribuição (und.) de interferências por pavimento e tipo de interferência com base nas seguintes categorias: solicitação, quando o coordenador BIM solicita que seja realizado algum ajuste, indefinido, quando não há uma definição especifica a ocorrência, investigação, quando há a necessidade de realizar maior aprofundamento atrelado a um determinado tipo de solução, observação, quando o coordenador BIM deseja chamar atenção para algum ponto específico e por fim a categoria falha, evidenciado que uma determinada solução não atendeu as necessidades previstas e desejadas pela organização.

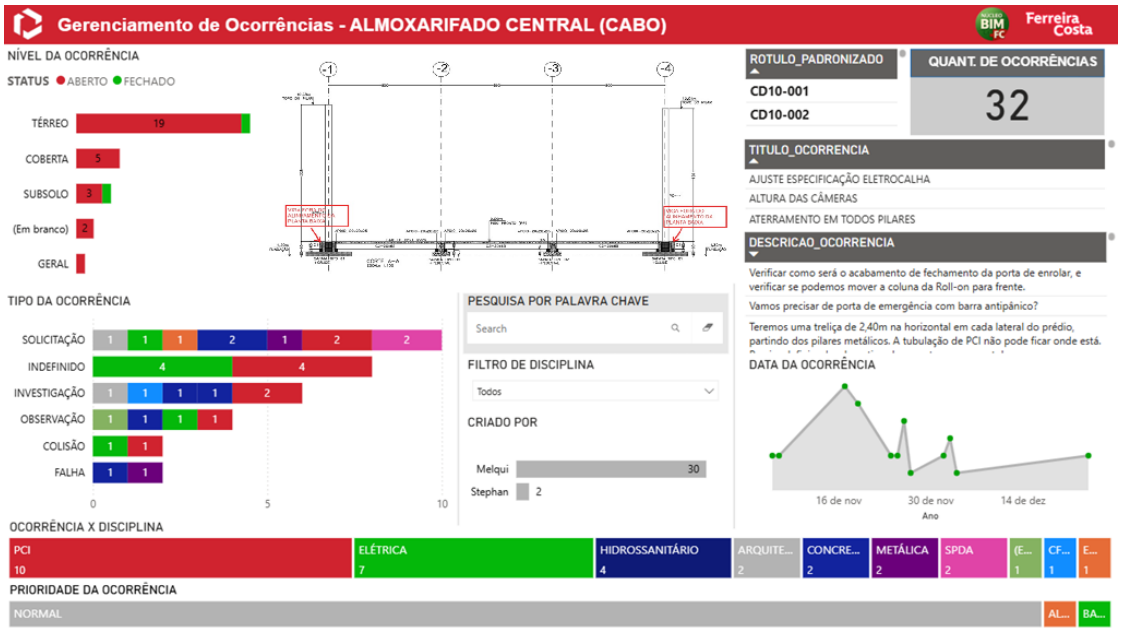


Figura 6: Dashboard de gerenciamento de ocorrências do almoxarifado central (CD Cabo). Autores (2026)

Além desses gráficos de barras horizontais, o painel exibe informações atreladas as ocorrências em si, tais como: título, descrição, data da criação da ocorrência, figura de referência e a possibilidade de realizar buscas específicas por filtros. No canto inferior do painel, é possível identificar a distribuição de ocorrências por especialidades, assim como, o tipo de priorização estabelecido para cada ocorrência (baixo, normal e alta). No processo de coordenação do CD Cabo foram identificadas 72 interferências, já no Edifício de Utilidades foram registradas 157 interferências, totalizando 229, gerando uma redução de aproximadamente R$458.000,00 de retrabalhos mitigados no canteiro de obras.

5. Avaliação do processo de Coordenação BIM junto a equipe de projetos

Visando avaliar o quão bem o processo concebido estava atendendo a equipe, foi aplicado um questionário semiestruturado com questões em escala linear de 1 a 5 (Figura 7) visando compreender se o fluxo proposto atendeu as demandas dos profissionais que estavam acompanhando o processo de coordenação a execução das duas obras. O questionário foi desenvolvido com intuito de avaliar três constructos: i) Detecção antecipada de conflitos (utilizando ferramentas integradoras de PIM), ii) Colaboração eficiente (via CDE), iii) Transparência e Rastreabilidade (via CDE), foram entrevistados 8 profissionais que atuaram diretamente no processo de coordenação dos dois estudos de casos definidos. É importante salientar que, a aplicação do questionário junto aos 8 profissionais compreendendo um recorte limitado, deu-se em função de priorizar em um primeiro momento, realizar a análise junto a colaboradores com vinculos empregatícios fixos junto a organização, em trabalhos futuros, os autores desejam estender o recorte para os demais prestadores de serviços (empresas contratadas) que atuam sob demanda específica.



Figura 7: Questionário semiestruturado. Autores (2026)

No âmbito do constructo **Detecção antecipada de conflitos**, foi avaliado o quão bem os procedimentos automatizados ou semiautomatizados foram úteis no processo de identificação de inconsistências do projeto, considerando o cenário onde os objetos ocupam o mesmo espaço (hard clash) ou estão muito próximos a ponto de violarem as restrições espaciais (soft clash). No âmbito da **Colaboração (via CDE)**, foi avaliado o quão bem o Ambiente Comum de Dados (CDE) Trimble Connect foi útil para realizar a coleta, gestão e disseminação dos containers de informação através de um processo gerido. Por fim, no âmbito do constructo **Transparência e astreabilidade**, foi avaliado o quão bem houve melhoria no processo de coordenação do projeto, contemplando: i) solicitações, ii) atualizações de arquivos, iii) visualização de documentos e metadados inseridos nos PIM's. Visando analisar o resultado alcançado das respostas do questionário, foi criada uma tabela síntese contendo os valores médios alcançados para cada constructo, os grupos de respondentes foram divididos em duas categorias: 1) projeto e 2) execução de obra. A Tabela 1 exibe o resultado após a aplicação do questionário.

Tabela 1: Resultado da avaliação dos constructos. Fonte: Autores (2026)

Grupo	Detecção antecipada de conflitos	Colaboração eficiente (CDE)	Transparência e rastreabilidade (CDE)	Média
Projeto	100%	85%	90%	91,66%
Obra	85%	70%	75%	76,66%

Questões:
Q.01: Numa escala de 1 (muito pouco) a 5 (bastante), o quanto você avalia que o uso BIM associado a detecção antecipada de conflitos contribuiu no processo de coordenação dos projetos?
Q.02: Numa escala de 1 (muito pouco) a 5 (bastante), o quanto você avalia que houve uma melhoria na colaboração eficiente com o uso do Trimble no processo de coordenação dos projetos?
Q.03: Numa escala de 1 (muito pouco) a 5 (bastante), o quanto você avalia que houve maior transparência e rastreabilidade no processo de coordenação dos projetos?

Os valores apresentados na Tabela 1 evidenciam que no âmbito do grupo dos profissionais que atuam na fase de projeto (4 profissionais), a média de 91,66% revela uma maior percepção do benefício desses constructos para o grupo, já no âmbito do grupo obra (4 profissionais) a média alcançada foi de 76,66%. Além das questões semiestruturadas foi criado um campo no final do questionário visando obter o feedback dos profissionais. Os feedbacks obtidos junto ao grupo que atuam na fase de desenvolvimento de projeto evidenciam que a percepção pertinente ao uso BIM associado à coordenação é positiva, fortalecendo o controle de qualidade dos projetos

assim como, apoiando a equipe nas atividades pertinente a detecção antecipada de conflitos, tendo sugestões no âmbito de promover melhorias visando ampliar a utilização de ferramentas integradoras de PIM visando aumentar a maturidade da equipe. Pertinente aos profissionais que atuam na fase de execução de obra, evidenciaram que, mesmo não havendo uma participação direta de todos os profissionais devido as diferentes demandas que eles necessitam atuar além do escopo BIM, o uso BIM associado à coordenação se mostrou eficaz na compatibilização de projetos, como ponto de melhoria, foi recomendado tornar mais eficiente a comunicação entre as equipes de projeto e execução de obra.

6. Conclusão

Este trabalho demonstrou que o uso BIM associado a coordenação e análise de dados junto a organização a partir da aplicação do questionário de avaliação junto aos colaboradores, revelou de forma preliminar que, houve uma positiva percepção de valor pertinente aos constructos avaliados, especialmente junto aos profissionais que atuam na fase de desenvolvimento de projeto (média de 91,66%) sinalizando utilidade dos três constructos analisados. Para trabalhos futuros os autores desejam realizar um planejamento focado na capacitação dos profissionais que atuam na fase de execução de obra, visando aumentar a percepção desse grupo que obteve média geral de avaliação de 76,66% nos constructos analisados, assim como estender o protocolo para demais profissionais envolvidos (prestadores de serviço). Os resultados apresentados neste trabalho são importantes para que a equipe do Núcleo BIM da organização junto a empresa de consultoria especializada IG Consultoria conseguissem juntos caracterizar os resultados preliminares obtidos no planejamento previsto para o ano de 2026 visando monitorar continuamente os dados analisados em novos empreendimentos visando agregar valor aos processos de negócios que a organização atua.

Referências

[1] Í. G. Santos, M. D. Fragoso, A. S. Strauß, and K. Lima, “Transformação digital em um Home Center do setor de varejo brasileiro com ênfase na implantação e implementação BIM,” in *5º Congresso Português de Building Information Modelling*, vol. 2, Guimarães, Portugal, 2024, pp. 333–342. UMinho Editora. doi: 10.21814/uminho.ed.164.27.
[2] J. Vargas, “Searching for a Business Architecture,” in *Proceedings of the International Conference on Business Architecture*, Holanda, 1995.
[3] A. Serrentino, Varejo e Brasil: Reflexões Estratégicas. *São Paulo: Varese Retail*, 2nd ed., 2016.
[4] S. B. Melhado, Coordenação de projetos de edificações. *São Paulo: O Nome da Rosa*, 2005
[5] S. Emmitt, Design management for architects. Oxford: Blackwell Publishing, 2007.
[6] V. Çağdaş and E. Stubkjær, “Design research for cadastral systems,” *Computers, Environment and Urban Systems*, vol. 35, no. 1, pp. 77–87, Jan. 2011.
[7] V. K. Vaishnavi and W. K. Kuechler, Methods and Patterns: Innovating Information and Communication Technology. *2nd ed. New York: Auerbach Publications*, Taylor & Francis Group, 2015.
[8] J. Messner, BIM Project Execution Planning Guide, version 3.0. *University Park, PA: The Pennsylvana State University*, 2023.

12345

OTIMIZAÇÃO DOS AUTOS DE MEDIÇÃO ATRAVÉS DA INTEGRAÇÃO DO BIM E DA COLABORAÇÃO EM OBRA

Maria Clara Fonseca, José Luís Granja

ptBIM

OTIMIZAÇÃO DOS AUTOS DE MEDIÇÃO ATRAVÉS DA INTEGRAÇÃO DO BIM E DA COLABORAÇÃO EM OBRA

Maria Clara Fonseca [(1)], José Luís Granja [(2)]

(1) Gabriel Couto, Famalicão e Mestrado BIM A+
(2) University of Minho, ISISE, ARISE, Department of Civil Engineering, Guimarães, Portugal, 0000-0002-0858-4990

Resumo
Os autos de medição continuam a ser preparados manualmente na maioria das obras em Portugal, tornando o processo de validação mensal de trabalhos suscetível a erros, atrasos e disputas. Esta investigação analisa de que forma o Building Information Modelling (BIM) e os standards abertos – em particular o IFC e o BCF – podem apoiar a digitalização destes registos e integrá-los num fluxo de trabalho colaborativo que reforça a participação ativa dos técnicos de estaleiro. O estudo foi desenvolvido em parceria com a construtora Gabriel Couto e seguiu uma metodologia aplicada que combinou um inquérito a profissionais de obra, o mapeamento comparativo de processos e uma validação prática.
O inquérito revelou abertura à adoção do BIM, mas evidenciou falta de formação, ausência de estratégias estruturadas e escassez de ferramentas acessíveis no estaleiro como principais barreiras. Com recurso ao mapeamento de processos, foram analisados os fluxos de trabalho tradicionais e os atualmente implementados na empresa, os quais demonstraram ineficiências e fundamentaram a definição de um modelo otimizado suportado por BIM. Para validar esta abordagem, foi conduzida uma implementação prática numa pequena amostra de elementos de betão armado através da aplicação Q-TrackApp, uma ferramenta digital leve desenvolvida no âmbito do estudo, que permite às equipas de obra registar, validar e integrar dados de medição no ambiente BIM. Os resultados demonstram que autos de medição suportados por BIM e centralizados num ambiente digital comum aumentam a rastreabilidade, reduzem erros e reforçam a colaboração entre as equipas de escritório e de obra.

1. Introdução

Os autos de medição constituem um elemento central na gestão financeira e no controlo do progresso dos projetos de construção, uma vez que suportam a validação dos trabalhos executados e os pagamentos faseados ao longo da obra. Em Portugal, estes registos continuam a ser, na maioria dos casos, elaborados através de procedimentos manuais, assentes em informação recolhida em estaleiro e posteriormente consolidada por diferentes intervenientes, o que torna o processo particularmente suscetível a erros, atrasos e interpretações divergentes. Neste contexto, o Building Information Modelling (BIM) surge como uma solução transformadora, ao permitir, através da digitalização do modelo tridimensional do projeto, a extração automatizada e rigorosa de quantidades, eliminando ambiguidades e reduzindo significativamente o potencial de conflito. Apesar da crescente adoção do BIM nas fases de projeto, a sua integração efetiva nos processos de obra permanece limitada, contribuindo para um desalinhamento entre o modelo digital e a realidade construída. Este desfasamento reduz a capacidade de capitalizar o esforço investido na modelação na fase da pré-construção, restringe a participação das equipas de estaleiro nos fluxos digitais e fragiliza a fiabilidade da informação utilizada na elaboração e validação dos autos de medição.

O foco deste estudo consiste precisamente em ultrapassar as limitações dos registos tradicionais de medição, através da criação de um ecossistema fluido e transparente no qual os dados são captados diretamente em obra e integrados de forma imediata na infraestrutura digital do projeto. No âmbito deste estudo, embora não tenha sido desenvolvido um ambiente comum de dados plenamente conforme, foi implementado um visualizador BIM que permite a interação direta com o modelo. Neste contexto, os formatos IFC e BCF, bem como bibliotecas open-source associadas, foram utilizados para suportar a captura de informação a partir de uma ferramenta leve, operável diretamente a partir do estaleiro. Neste fluxo, as medições são registadas em obra pelo técnico responsável, através de tópicos BCF associados aos elementos do modelo, possibilitando o rastreio e o registo das quantidades executadas, as quais permanecem referenciadas aos respetivos objetos IFC.

A literatura recente confirma que, apesar da maturidade alcançada pelo BIM nas fases de projeto, a sua adoção em contexto de obra permanece limitada, sobretudo devido a barreiras socio-organizacionais, lacunas de formação e fragmentação dos fluxos de informação [1], [2]. Neste âmbito, os Common Data Environments (CDE) e os standards openBIM, nomeadamente o IFC e o BCF, são amplamente reconhecidos como elementos-chave para a governação da informação, a colaboração interdisciplinar e a rastreabilidade dos dados ao longo do ciclo de vida do ativo [3], [4]. Do mesmo modo, diversos estudos demonstram que o BIM 5D permite melhorar significativamente a extração de quantidades face a métodos tradicionais [5], [6]. Contudo, a maioria destas abordagens permanece centrada na fase de projeto ou em contextos de coordenação técnica, sendo ainda escassa a evidência empírica de fluxos de trabalho integrados que permitam operacionalizar, em contexto real de estaleiro, o registo, validação e rastreabilidade dos autos de medição, ligando diretamente a medição em obra à sua representação digital e aos processos de controlo e pagamento.

2. Levantamento e reestruturação de processos

2.1. Abordagem metodologia

A metodologia adotada nesta investigação caracteriza-se pela sua forte ligação à prática profissional no contexto de uma empresa de construção em Portugal. Não obstante, o presente estudo foi suportado por um enquadramento teórico sólido, assegurando que a análise desenvolvida e as propostas de melhoria de processos são fundamentadas em métodos sistemáticos e criticamente examinados, passíveis de aplicação em contextos reais de obra. Neste sentido, a estratégia metodológica foi estruturada em três fases sequenciais e complementares, enquadrando-se num estudo aplicado de carácter exploratório, com foco na compreensão do processo e não na medição de desempenho. A primeira fase consistiu no levantamento de informação junto de técnicos de obra, através da realização de um inquérito, com o objetivo de identificar práticas correntes, limitações e perceções relativas à utilização de BIM em contexto de estaleiro. A segunda fase incidiu no mapeamento de processos, permitindo analisar e comparar os fluxos de trabalho associados à elaboração dos autos de medição. Por fim, a terceira fase correspondeu à validação do modelo To-Be através da sua aplicação num caso de estudo de dimensão reduzida, materializado num teste realizado sobre uma pequena amostra, com carácter demonstrativo.

2.2. Inquérito a técnicos de obra

Para a recolha de dados do presente estudo foi concebido e aplicado um questionário estruturado, recorrendo à plataforma de inquéritos online Jotform. O link do questionário foi distribuído por correio eletrónico a profissionais diretamente envolvidos nos projetos de construção da empresa, garantindo uma recolha eficiente e segura das respostas e permitindo que os participantes contribuíssem de forma acessível. As questões do questionário encontram-se disponíveis em formato PDF para consulta.

De modo a salvaguardar a fiabilidade dos resultados e incentivar respostas mais espontâneas, todos os questionários foram respondidos de forma anónima. No total, o inquérito obteve 21 respostas, correspondendo a uma amostra indicativa dos profissionais envolvidos nas atividades de obra da empresa. Embora o questionário tenha sido enviado a todos os profissionais afetos às obras com acesso a email, os resultados revelam uma forte predominância de diretores de obra entre os respondentes. Os preparadores constituíram o segundo grupo mais representado, enquanto os perfis de encarregado, topógrafo, medidor e outras funções surgem de forma residual. Esta distribuição evidencia uma concentração significativa de respondentes em funções de gestão de obra. No que respeita ao nível de adoção da metodologia BIM, apesar de esta estar a ser progressivamente implementada na empresa e em contexto de obra desde 2021, apenas uma minoria dos inquiridos indicou utilizar frequentemente ferramentas BIM. Os restantes participantes afirmaram não estar familiarizados com o BIM, estar familiarizados, mas nunca utilizar as ferramentas, ou utilizá-las apenas de forma pontual. Estes resultados evidenciam que o BIM ainda não se encontra estabelecido como um mecanismo de suporte predominante para as atividades em contexto de obra. A análise cruzada entre a função desempenhada e o nível de adoção revelou que a utilização frequente de ferramentas BIM não se encontra necessariamente correlacionada com a função profissional exercida. Este resultado sugere que a adoção desta metodologia não depende exclusivamente do perfil funcional, mas de outros fatores estruturais e organizacionais.

As questões subsequentes do inquérito tiveram como objetivo compreender as razões subjacentes à adoção limitada do BIM em obra, identificando os principais fatores de resistência à sua utilização. A maioria dos participantes apontou a falta de formação adequada como o principal obstáculo à utilização eficaz das ferramentas disponíveis. Foram ainda referidas: a preferência por formatos tradicionais, a perceção de complexidade do software, a falta de conhecimento dos benefícios associados e a indisponibilidade de tempo para investir na aprendizagem de novas ferramentas. Numa das respostas abertas, um participante referiu explicitamente não conhecer o propósito do BIM na organização, evidenciando a inexistência de uma comunicação top-down eficaz relativamente aos objetivos e benefícios da sua adoção em obra. As barreiras identificadas foram posteriormente agrupadas em três dimensões principais: organizacional, técnica e humana, permitindo sistematizar os resultados e evidenciar os obstáculos mais frequentemente reportados. A análise revelou uma recetividade generalizada dos profissionais à adoção do BIM, contrastando com a ausência de uma estratégia de implementação estruturada, assente numa comunicação clara e consistente dos objetivos e benefícios da transição digital. Neste contexto, os desafios de natureza organizacional surgem como os mais determinantes, seguidos dos desafios técnicos, nos quais se destacam a complexidade do software e a preferência por formatos tradicionais, como ficheiros PDF e desenhos 2D. Este último aspeto foi classificado como um desafio tecnológico, uma vez que a utilização de formatos 2D não é, por si só, incompatível com metodologias BIM, podendo antes refletir a ausência de soluções tecnológicas que permitam a sua integração em fluxos de trabalho baseados em BIM. Adicionalmente, foi identificada a falta de suporte tecnológico adequado, nomeadamente a indisponibilidade de dispositivos móveis leves que permitam um acesso prático e eficiente aos modelos em contexto de obra. Esta limitação constitui uma barreira significativa à adoção do BIM, sendo frequentemente referida pelos participantes ao longo do inquérito. O inquérito permitiu igualmente identificar os fluxos de trabalho em obra que, na perspetiva dos técnicos, mais beneficiariam da aplicação do BIM, destacando-se a preparação de obra e a elaboração de autos de medição, que constituem o foco central deste estudo. Embora a maioria dos participantes continue a preferir não interagir diretamente com o modelo, uma proporção significativa manifestou interesse em introduzir informação através de anotações em desenhos 2D ou por interação direta com o modelo tridimensional. Estes resultados influenciaram diretamente a implementação prática desenvolvida no âmbito do estudo, em particular a definição de requisitos que asseguram a possibilidade de interação com o modelo através de representações 2D, garantindo maior compatibilidade com as práticas correntes em estaleiro.

2.3. Mapeamento de processos

No contexto português, o processo de elaboração dos autos de medição de obra carece de sistematização na literatura, tendo sido analisado o enquadramento legal aplicável, em particular o Código dos Contratos Públicos (artigos 387.º a 390.º), o qual atribui ao dono de obra a responsabilidade pela medição dos trabalhos executados. Na ausência de disposições contratuais específicas, estas medições são realizadas mensalmente e concluídas até ao dia 8 do mês seguinte [7]. Contudo, a prática corrente em Portugal diverge frequentemente deste enquadramento legal, refletindo a ausência de normalização de um processo que varia em função do tipo de contrato (público ou privado) e dos intervenientes envolvidos. Neste contexto, a sistematização do processo de elaboração dos autos de medição foi assumida como condição

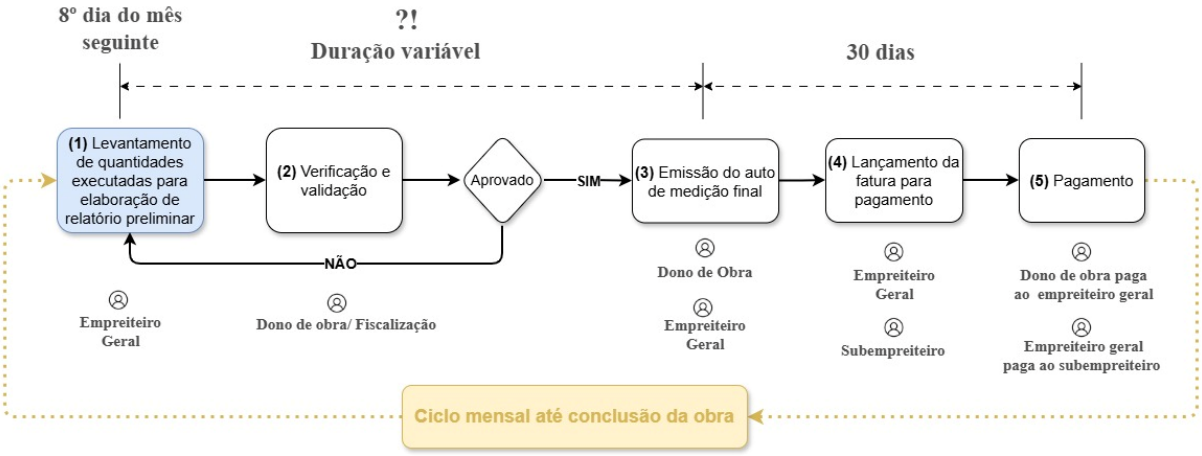


Figura 1: Ciclo mensal de pagamentos em projetos de construção no contexto português

essencial para identificar pontos críticos e ineficiências e para fundamentar oportunidades de melhoria orientadas para o aumento da eficiência.

A análise evidenciou um padrão recorrente em que o auto de medição é elaborado mensalmente em obra pelo empreiteiro geral, com eventual apoio dos subempreiteiros. O empreiteiro geral elabora, deste modo, um relatório preliminar das quantidades executadas em obra, sendo o mesmo posteriormente submetido para verificação e validação do dono de obra, até ao dia 8 do mês seguinte. Após submissão do relatório preliminar, o processo pode evoluir para validação ou regressar à etapa inicial em caso de discordância, podendo, em situações extremas, a fiscalização proceder a um levantamento próprio. Após aprovação, é emitido o auto de medição final, assinado por ambas as partes, o qual serve de base à faturação e ao pagamento pelo dono de obra no prazo contratual de 30 dias, seguindo-se, quando aplicável, o pagamento aos subempreiteiros. O levantamento efetuado no âmbito do estudo comprova que o período entre a submissão do relatório inicial e a sua validação pelo dono de obra é frequentemente marcado por incerteza e desacordos quanto às quantidades medidas, originando atrasos e constrangimentos no processo de pagamento, com impacto direto no fluxo de caixa e na execução da obra, comprometendo a fluidez do processo. Este processo encontra-se ilustrado no fluxograma da Figura 1 e representa a prática corrente observada no contexto português, podendo variar em função do tipo de contrato e do modelo de fiscalização.

No decurso do estudo, e com o objetivo de mitigar os constrangimentos identificados no fluxo global associado ao ciclo mensal de pagamentos em obra, foram desenvolvidos quatro mapas de processo, focados na etapa (1) desse fluxo, correspondente ao levantamento das quantidades executadas em obra ao longo do período mensal e à elaboração do relatório preliminar. Os mapas de processo foram estruturados segundo os modelos *Traditional*, *As-Is*, *To-Be* e *Target*. Dois destes modelos refletem processos atualmente em vigor na empresa Gabriel Couto; um terceiro corresponde a um modelo de transição a curto prazo, testado através de implementação prática; e um quarto representa o cenário de longo prazo associado à integração plena do BIM e à digitalização do processo. Os modelos *Traditional* e *As-Is* resultaram de um levantamento empírico realizado junto de técnicos de obra, profissionais da área financeira e membros da administração da empresa.

A análise do modelo *Traditional*, o único que não integra o BIM como recurso de suporte, evidenciou que as medições são maioritariamente realizadas em estaleiro com recurso a

instrumentos tradicionais, sendo os dados registados manualmente em papel e posteriormente transcritos para folhas de cálculo. A ausência de ferramentas digitais adequadas introduz atrasos e aumenta o risco de perda ou distorção da informação. Do ponto de vista técnico, este modelo apresenta limitações significativas, como a falta de normalização digital, a dependência de transcrições manuais e a inexistência de integração com estruturas digitais do mapa de quantidades, reduzindo a transparência, a rastreabilidade e a eficiência do processo. Apesar do modelo *Traditional* se manter formalmente em vigor, uma parte significativa dos autos de medição passou a ser preparada com o apoio técnico e operacional do Departamento de BIM, dando origem ao modelo *As-Is*, o qual tem vindo a ser progressivamente adotado desde 2021.

O modelo *As-Is*, ilustrado na Figura 2, introduz mecanismos digitais de validação das quantidades através da sua extração direta do modelo BIM, reforçando a fiabilidade da informação registada. Contudo, mantém-se assente num processo híbrido, no qual a informação recolhida em estaleiro é comunicada ao Especialista BIM para posterior introdução no modelo digital. Esta abordagem, embora represente um avanço face ao modelo tradicional, preserva limitações relevantes, nomeadamente a dependência do Departamento de BIM e o potencial desfasamento entre o modelo e a realidade de obra. A identificação destas limitações no modelo *As-Is* esteve na origem do presente estudo e motivou a conceção de um novo fluxo de trabalho para a elaboração de autos de medição baseados em BIM.

O modelo proposto, designado por *To-Be* e representado na Figura 3, assenta na capacitação dos intervenientes de obra para interagirem diretamente com o modelo digital, assegurando uma gestão consistente da informação num ambiente comum, materializado através da aplicação Q-TrackApp. A Q-TrackApp é uma aplicação digital leve, orientada para o contexto de estaleiro, desenvolvida para permitir às equipas de obra visualizar o modelo BIM, registar o progresso das tarefas executadas e associar essa informação diretamente aos elementos do modelo, sem necessidade de recorrer a software de modelação especializado. Estruturada com base em padrões abertos de interoperabilidade, nomeadamente Industry Foundation Classes (IFC) e BIM Collaboration Format (BCF), neste modelo os dados de progresso são introduzidos diretamente a partir do estaleiro, permitindo a sua integração automática no modelo BIM, ultrapassando o desfasamento entre a realidade de obra e os inputs inseridos, patente no modelo *As-Is*. Para além disso, o modelo *To-Be* restitui maior autonomia do processo às equipas de obra, reduzindo a dependência de departamentos especializados. Contudo, o modelo *To-Be* carece ainda de otimização, uma vez que a extração de quantidades permanece dependente de software proprietário operado pelo Departamento de BIM, introduzindo um nível adicional de complexidade no processo. Neste contexto, prevê-se que a Q-TrackApp evolua de forma orgânica, adaptando-se progressivamente aos processos internos da organização. Entre as funcionalidades prioritárias a incorporar destaca-se a capacidade de realizar a extração automática de quantidades diretamente na aplicação, eliminando a dependência de plataformas externas de modelação e de departamentos especializados. Esta evolução permitirá simplificar o fluxo de trabalho, reduzir redundâncias e reforçar a autonomia das equipas de obra. Este cenário futuro foi formalizado num modelo-alvo final, designado por modelo *Target*.

O código-fonte da aplicação está disponível em *open-source* nos repositórios clara-app (*frontend*) e clara-app-backend (*backend*).

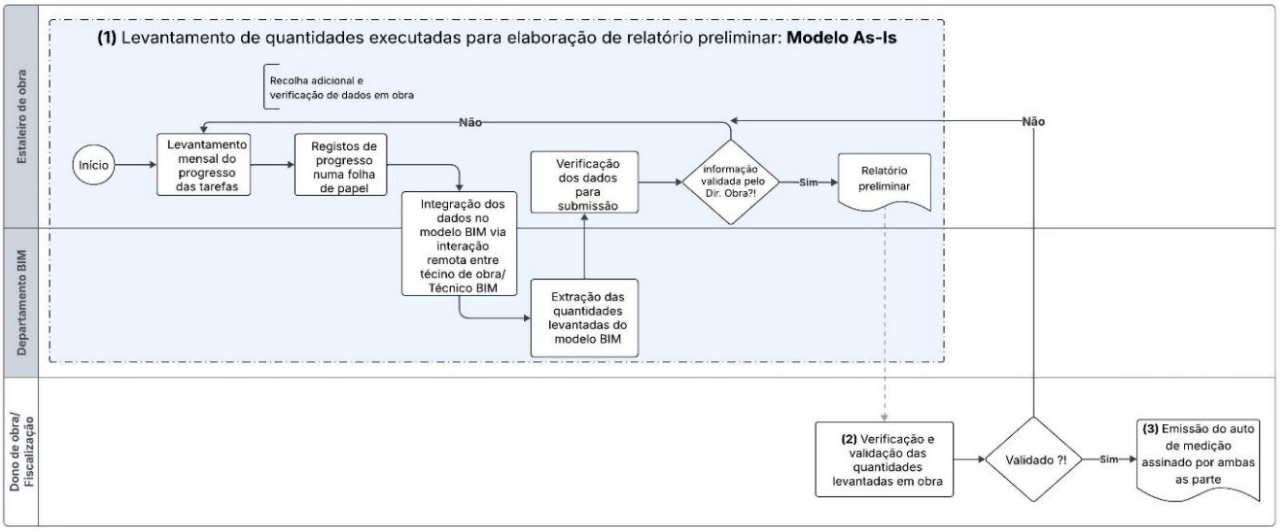


Figura 2: Modelo *As-Is*

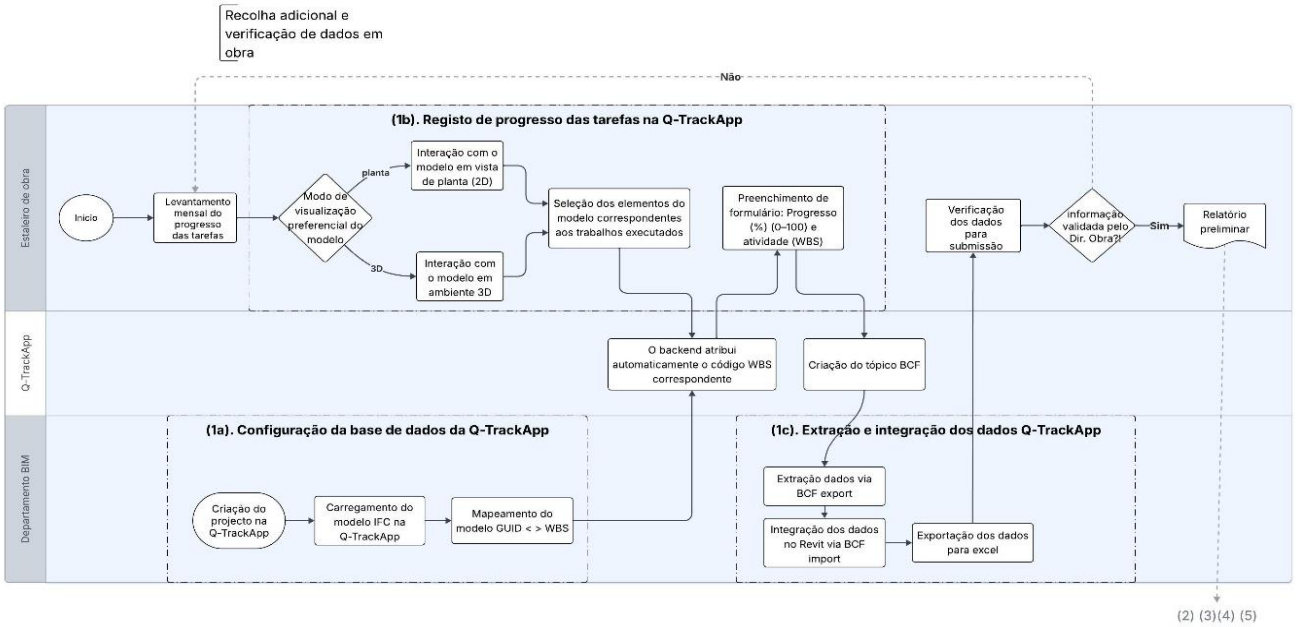


Figura 3: Modelo *To-Be*

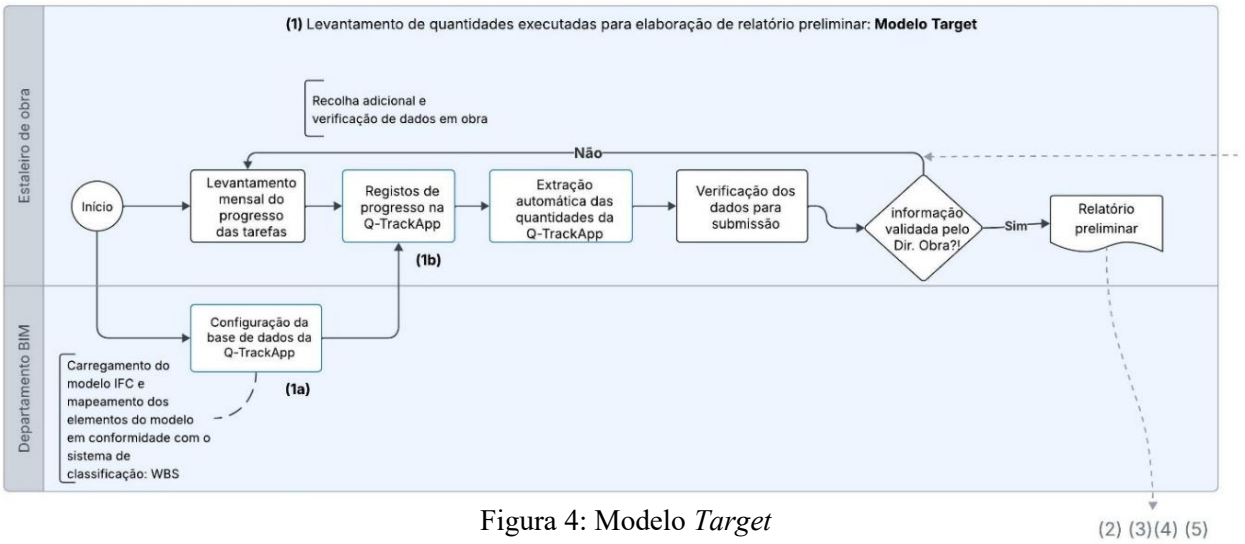


Figura 4: Modelo *Target*

3. Demonstração de viabilidade do modelo To-Be

A validação prática do modelo *To-Be* consistiu na sua aplicação a uma amostra limitada de elementos estruturais em betão armado, com o objetivo de demonstrar a viabilidade de um fluxo integrado de registo e consolidação do progresso dos trabalhos em obra. A implementação incidiu sobre as três etapas fundamentais do processo *To-Be* (ilustrados na Figura 3): a configuração da base de dados da Q-TrackApp (1a), o registo do progresso dos trabalhos (1b) e a extração e integração dos dados no modelo BIM (1c). A base do fluxo proposto assenta na estruturação automática da informação de progresso, suportada por um sistema de classificação e pela identificação inequívoca dos elementos do modelo. Para esse efeito, foi adotado o sistema de classificação Work Breakdown Structure (WBS) desenvolvido pela buildingSMART Portugal [8], em articulação com o identificador único global (GUID) dos elementos IFC, assegurando rastreabilidade e consistência da informação ao longo do processo. O registo do progresso dos trabalhos é efetuado diretamente em obra através da Q-TrackApp, recorrendo a formulários digitais estruturados, conforme ilustrado na Figura 5**.** Estes formulários incorporam campos predefinidos e mecanismos de validação automática, suportados pelo mapeamento previamente definido entre os elementos do modelo e os códigos WBS, na fase de configuração da base de dados, assegurando que a informação submetida é completa, coerente e normalizada. O preenchimento dos dois campos predefinidos do formulário: o grau de conclusão (i) e a atividade associada(ii) origina automaticamente a criação do título do tópico BCF, o qual fica associado ao elemento do modelo., garantindo um mecanismo estruturado de comunicação e documentação do progresso. Por fim, os dados registados são extraídos da Q-TrackApp através do formato BCF e integrados no software de modelação, permitindo a atualização automática do ficheiro de modelação BIM, bem como a extração automática das quantidades levantada a partir do software nativo. Este fluxo possibilita a consolidação dos dados de progresso e a geração de informação estruturada sobre os trabalhos executados, assegurando a ligação direta entre o modelo digital e os registos de obra, sem necessidade de introdução manual de dados.

Tabela 1: Campos do formulário para registo do progresso e geração automática do BCF Topic Title na Q-TrackApp

Código WBS da atividade	Descrição da atividade	Progresso da atividade	Título do tópico BCF gerado
08.01.03	Betão moldado em pilares e montantes	100	100 | 08.01.03
08.01.04	Betão moldado em vigas, lintéis e cintas	0	0 | 08.01.04
09.02.01.03	Cofragem plana para betão não à vista em pilares	100	100 | 09.02.01.03
09.02.01.04	Cofragem plana para betão não à vista em pilares	100	100 | 09.02.01.04
10.01.05	Armadura ordinária em pilares e montantes	100	100 | 10.01.05
10.01.06	Armadura ordinária em pilares em vigas, lintéis e cintas	100	100 | 10.01.06

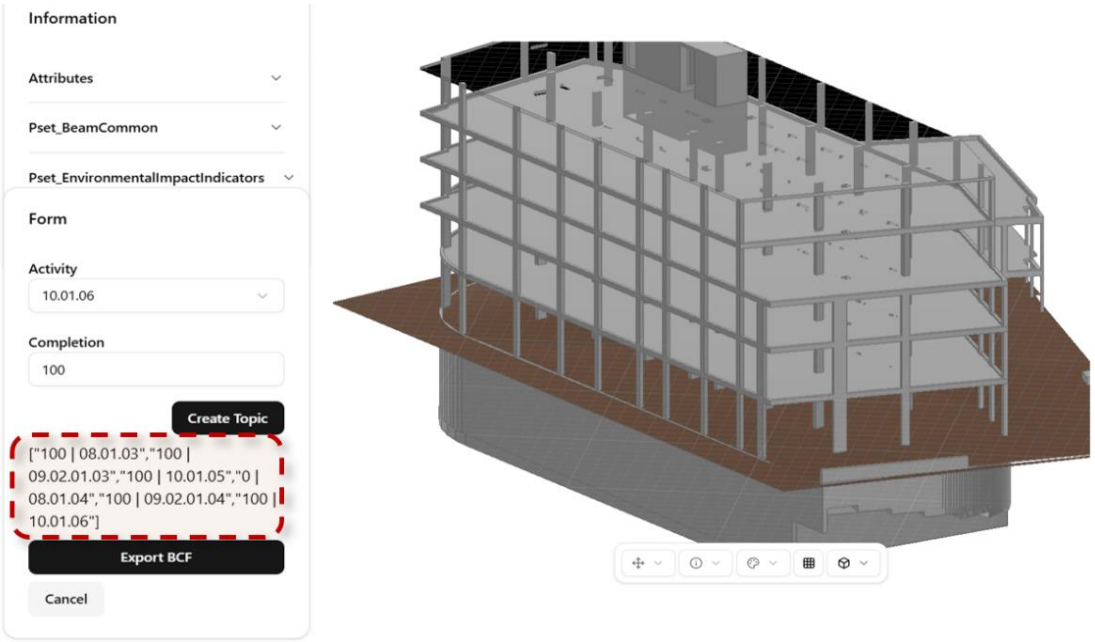


Figura 2: Interface de utilizador da Q-TrackApp com formulários digitais de registo

4. Conclusões

O presente trabalho teve como principal objetivo o desenvolvimento e a demonstração de viabilidade de um fluxo de trabalho otimizado para o registo do progresso dos trabalhos em obra diretamente a partir do estaleiro, formalizado no modelo *To-Be* e suportado por uma ferramenta digital leve. A avaliação do impacto dos diferentes modelos de processo analisados baseou-se numa análise qualitativa comparativa, sustentada em parâmetros associados, por um lado, à fiabilidade e consistência da informação e, por outro, à eficiência e ao desempenho

operacional do processo de elaboração dos autos de medição. Os resultados da análise evidenciam que a transição dos modelos *Traditional* e *As-Is* para o modelo *To-Be* introduz melhorias significativas em ambos os domínios considerados. Ao nível da fiabilidade da informação, observam-se ganhos claros na rastreabilidade, na redução do potencial de erro e no alinhamento entre o modelo digital e a realidade da obra, resultantes do registo direto do progresso em ambiente digital. Em termos de eficiência operacional, o modelo *To-Be* permite simplificar o fluxo de trabalho e reduzir a dependência de departamentos especializados, eliminando etapas intermédias de transcrição e consolidação de dados. O modelo *Target* representa o cenário de maturidade máxima, no qual estes benefícios são plenamente consolidados através da automatização do processo. A validação prática realizada, ainda que limitada, confirma o potencial da abordagem proposta para melhorar o processo de elaboração dos autos de medição e reforçar uma digitalização mais eficaz e participada em contexto de obra.

Agradecimentos

Este trabalho foi apoiado pela FCT/MCTES no âmbito da Unidade de I&D Instituto para a Sustentabilidade e Inovação em Estruturas de Engenharia (ISISE), com as referências UID/4029/2025 (https://doi.org/10.54499/UID/04029/2025) e UID/PRR/04029/2025 (https://doi.org/10.54499/UID/PRR/04029/2025), e no âmbito do Laboratório Associado Produção Avançada e Sistemas Inteligentes ARISE com a referência LA/P/0112/2020.

Referências

[1] D. Young, K. Panthi, and O. Noor, "Challenges involved in adopting BIM on the construction jobsite," *EPiC Series in Built Environment*, vol. 2, pp. 302–310, 2021, doi: 10.29007/f8r3.

[2] E. Alreshidi, M. Mourshed, and Y. Rezgui, "Requirements for cloud-based BIM governance solutions to facilitate team collaboration in construction projects," *Requirements Engineering*, vol. 23, pp. 1–31, 2016, doi: 10.1007/s00766-016-0254-6.

[3] buildingSMART International, BIM Collaboration Format (BCF), technical.buildingsmart.org/standards/bcf/.

[4] Van Berlo, L., and Krijnen, T., "Using the BIM Collaboration Format in a server based workflow," *Procedia Environmental Sciences*, vol. 22, pp. 325–332, 2014, doi:10.1016/j.proenv.2014.11.031.

[5] Vieira, L., Campos, M., Granja, J., and Azenha, M., "Framework for (semi) automatised construction specification and quantity takeoff in the context of small and medium architectural design offices," *Architecture, Structures and Construction*, vol. 2, no. 2, pp. 403–437, 2022, doi:10.1007/s44150-022-00071-8

[6] Silva, B. F., *Metodologia BIM no apoio à medição de quantidades*, Master's thesis, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Lisbon, Portugal, 2016.

[7] Portugal, Decreto-Lei n.º 18/2008, de 29 de janeiro, Código dos Contratos Públicos, Diário da República.

[8] buildingSMART Portugal, Work Breakdown Structure classification (BCF/WBS) spreadsheet, docs.google.com/spreadsheets/d/1aDo14hp6fcdnBf9b9Txgfj2BQUCfE4TW (Accessed: 15 Fevereiro 2026).

12345

DIRETRIZES PARA CONTRATAÇÃO DE PROJETOS EM BIM: UMA ANÁLISE TEÓRICA E DOCUMENTAL

Nathália Pinto, Sérgio Scheer

ptBIM

DIRETRIZES PARA CONTRATAÇÃO DE PROJETOS EM BIM: UMA ANÁLISE TEÓRICA E DOCUMENTAL

Nathália Pinto [(1)], Sérgio Scheer [(1)]

(1) Universidade Federal do Paraná, Curitiba

Resumo
A adoção do *Building Information Modeling* (BIM) na indústria da Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC) tem promovido mudanças nos processos de projeto e na gestão da informação, demandando adequações nos modelos tradicionais de contratação. Apesar dos avanços normativos e institucionais no contexto brasileiro, ainda existem lacunas quanto à definição de diretrizes contratuais capazes de apoiar a estruturação das contratações de projetos desenvolvidos em BIM. Diante desse cenário, este trabalho tem como objetivo identificar e analisar as principais diretrizes associadas aos processos de contratação de projetos em BIM, a partir de uma revisão sistemática da literatura e de pesquisa documental, abrangendo estudos anteriores, guias nacionais e internacionais, normas técnicas vigentes e documentos contratuais de empresas do setor da construção civil.
A análise permitiu identificar diretrizes recorrentes relacionadas à gestão da informação, à definição de escopo, aos usos do BIM, à estruturação dos requisitos de informação, às responsabilidades das partes, ao ambiente comum de dados e à documentação contratual específica para projetos desenvolvidos em BIM. Os resultados indicam que, embora existam recomendações na literatura, a aplicação dessas diretrizes ocorre de forma parcial e genérica, evidenciando divergências entre a teoria e a prática. Observa-se, ainda, a ausência de padronização na formalização dessas informações nos contratos, o que pode gerar ambiguidades e dificuldades na gestão do BIM ao longo do ciclo de vida dos empreendimentos.

1. Introdução

A implementação do BIM proporciona diversos benefícios para a indústria da construção civil. Entre eles, destacam-se o aumento da produtividade, a otimização dos projetos, a agilidade no detalhamento e na produção, a redução de retrabalhos e a minimização de erros por meio da coordenação interna dos processos desenvolvidos. Contudo, para que tais benefícios sejam alcançados, torna-se necessário avançar na adoção de uma estratégia sistemática de

implementação, especialmente no que se refere aos aspectos legais, contratuais e à clara definição de responsabilidades entre os envolvidos [1-2].
A literatura evidencia que as implicações legais e contratuais do uso do BIM representam um desafio global e uma barreira significativa à sua implementação na construção civil. Os sistemas jurídicos contemporâneos costumam se basear na atribuição individual de direitos e responsabilidades [3]. Em contraste, o BIM opera de forma colaborativa e integrada, com múltiplos atores contribuindo simultaneamente para a criação, atualização e gestão dos modelos de informação. Essa característica dificulta a definição precisa das responsabilidades relacionadas à produção, validação e uso das informações, aumentando o potencial de ambiguidades contratuais e de conflitos entre as partes [4].
Embora haja um número crescente de guias, normas e recomendações voltadas à implementação do BIM, com destaque para a série ISO 19650, adotada em diversos países, observa-se que as diretrizes relacionadas à contratação de projetos permanecem dispersas e, muitas vezes, são aplicadas de forma parcial. A ausência de uma sistematização consistente dessas diretrizes e de sua incorporação efetiva nos instrumentos contratuais contribui para o distanciamento entre as recomendações teóricas e as práticas adotadas pelo mercado, especialmente no que diz respeito à definição de escopo, aos requisitos de informação e aos mecanismos de gestão do processo BIM.
Este artigo tem como objetivo explorar as diretrizes contratuais aplicáveis a projetos desenvolvidos em BIM, por meio de uma abordagem teórica e documental. Inicialmente, foi realizada uma revisão sistemática da literatura com o propósito de mapear os principais conceitos e identificar as discussões predominantes sobre o tema. Em seguida, foram analisados documentos institucionais, normas, modelos contratuais, guias e orientações técnicas, buscando identificar sinergias entre as diferentes unidades de análise, bem como os principais procedimentos e requisitos potenciais a serem adotados nos processos de contratação de projetos em BIM.

2. Revisão da Literatura

O presente estudo fundamenta-se na metodologia de análise sistemática da literatura. Inicialmente, foi elaborada uma string de busca aplicada à base de dados Scopus, selecionada por ser amplamente reconhecida e recomendada para estudos de caráter prioritário e revisões sistemáticas da literatura [5]. A Figura 1 apresenta a síntese da estruturação das expressões de busca adotadas, bem como o período delimitado, a quantidade de artigos identificados na pesquisa e a metodologia de análise de dados aplicada.
Com o intuito de contemplar exclusivamente as contribuições mais recentes relacionadas ao tema investigado, o recorte temporal da pesquisa foi definido entre os anos de 2020 e 2025. A tabela também detalha a combinação de palavras-chave utilizadas, associadas aos operadores booleanos "*AND*" e "*OR*", visando ampliar a abrangência da busca, além dos filtros aplicados para restringir os resultados e identificar as publicações mais alinhadas ao escopo do estudo. A partir da *string* de busca estabelecida e dos filtros aplicados, foram identificados 122 artigos na base de dados Scopus. Após a etapa de coleta dos dados por meio da revisão bibliométrica, iniciou-se a análise temática, que compreende a identificação de temas ou padrões recorrentes

nos estudos selecionados, seguida de sua categorização, com o objetivo de aprofundar a compreensão dos principais conceitos e ideias-chave relacionados ao tema.

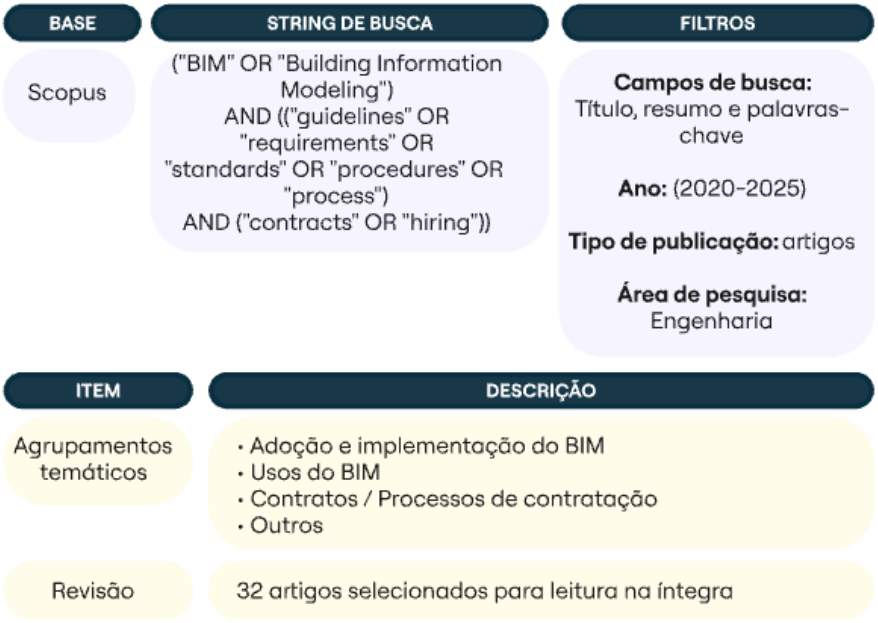


Figura 1: *String* de busca e protocolo RSL.

A análise temática foi conduzida por meio dos seguintes passos:

- Familiarização: etapa que envolveu a leitura e releitura dos dados para melhor compreensão do conteúdo; a leitura inicial foi realizada a partir dos títulos, resumos e palavras-chave;
- Agrupamento: organização dos dados codificados em grupos significativos, com base em suas similaridades;
- Seleção: exclusão dos trabalhos considerados não relevantes ao tema;
- Revisão: análise dos dados agrupados para garantir sua fidelidade em relação aos dados originais.

Considerando os 32 trabalhos resultantes do processo de filtragem, as informações extraídas da base de dados foram exportadas para o software *VOSviewer*, a fim de viabilizar a realização de uma análise de coocorrência binária, buscando identificar correlações entre os estudos. A Figura 2 apresenta as palavras-chave das fontes analisadas, organizadas a partir do critério de agrupamento por coocorrência de termos.
O mapa bibliométrico evidencia que o BIM é estudado de forma interdisciplinar, conectando projeto, construção e gestão. O termo "*architectural design*" destaca-se como um elemento central, indicando que uma parcela significativa da literatura ainda se concentra nas fases iniciais do processo de projeto. Os *clusters* indicam três eixos temáticos complementares: o vermelho reúne estudos sobre a indústria da construção e a gestão da produção, com ênfase em implementação do BIM, avaliação de desempenho e otimização de processos; o azul concentra pesquisas sobre estruturas contratuais, incluindo formas padrão de contratos, responsabilidades, riscos e conflitos decorrentes do uso de modelos digitais; e o verde relaciona o BIM à gestão da informação e à governança, incorporando discussões sobre contratos, marcos legais e

legislação, o que demonstra a preocupação da literatura em criar bases normativas que garantam colaboração, clareza de papéis e segurança jurídica em ambientes BIM.

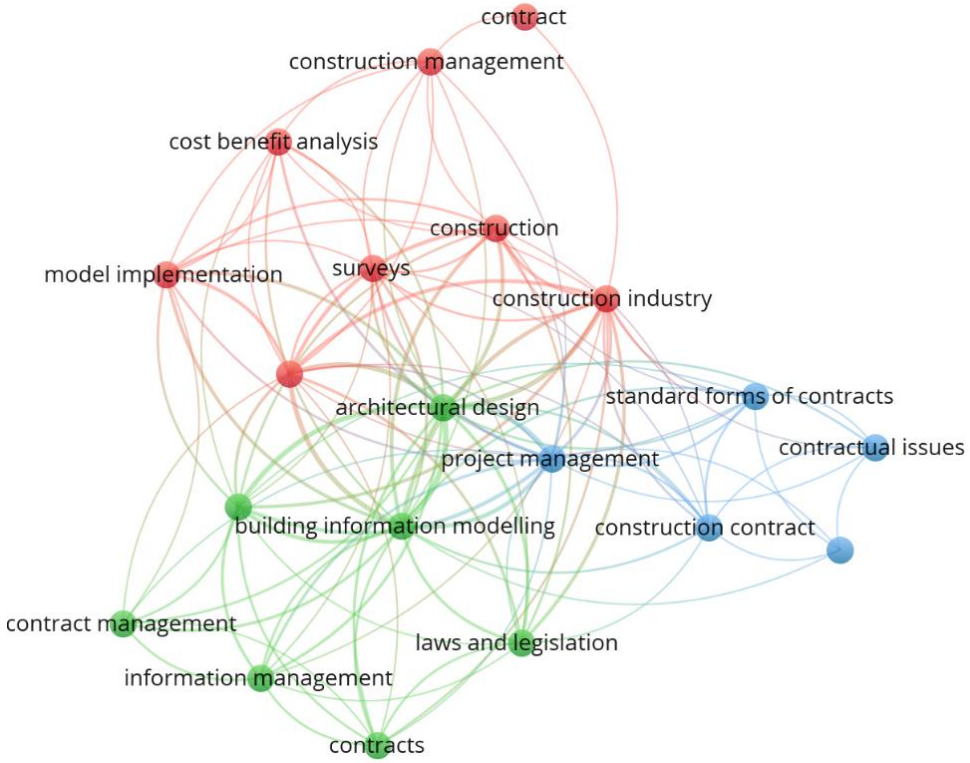


Figura 2: Mapa bibliométrico produzido no *VOSviewer*.

A análise das características gerais dos trabalhos identificados indica um crescimento significativo no número de publicações a partir de 2021, ano que concentrou o maior volume de estudos, considerando a busca realizada. Destacam-se, ainda, os autores Baharom, Abdullah e Ismail [6], bem como Assaad et al. [7], pelas contribuições relevantes relacionadas aos contratos em BIM e aos fatores críticos e de sucesso nos processos de contratação.

2.1 Identificação das Diretrizes

Com base na análise dos artigos selecionados na revisão, os resultados evidenciam a recorrência de diversos problemas legais e contratuais, bem como desafios relacionados ao processo de desenvolvimento de projetos em BIM. Os estudos também destacam a presença de boas práticas observadas no contexto internacional, especialmente no que se refere aos processos de contratação e à implementação do BIM no setor da construção civil. Os temas identificados, em função de sua frequência ou recorrência em múltiplos estudos, são apresentados a seguir a partir de uma compilação das informações analisadas. Essa sistematização tem como objetivo estruturar diretrizes contratuais relevantes e oferecer uma compreensão organizada das complexidades e oportunidades associadas à gestão contratual no contexto do BIM. A frequência das temáticas foi determinada por meio das etapas de codificação dos dados, análise de recorrência e interpretação dos resultados, conforme definido pela análise de conteúdo de Bardin [8], metodologia adotada para análise dos resultados encontrados.

A Figura 3 apresenta os temas mais frequentes identificados nos documentos analisados, organizados nas seguintes categorias temáticas: Estrutura e Inclusão do Contrato BIM (T1); Definição de Papéis, Responsabilidades e Habilidades (T2); Gestão da Propriedade Intelectual e Direitos Autorais (T3); Gestão de Dados e Segurança (T4); Padronização e Escopos de Projetos (T5); e Resolução de Disputas e Compensações (T6).

A análise das temáticas T1 a T6 evidencia que os principais desafios da contratação em BIM estão relacionados à forma como os instrumentos técnicos e jurídicos são incorporados aos contratos. A discussão demonstra que, embora o uso de adendos, protocolos e documentos complementares seja recorrente no contexto internacional, a ausência de padronização e de definição clara da hierarquia e precedência entre os documentos contratuais compromete a segurança jurídica e gera ambiguidades. De forma associada, observa-se que a definição de papéis, responsabilidades e competências é amplamente reconhecida como essencial, porém ainda carece de formalização consistente, especialmente no que se refere à atuação do Gerente BIM, à extensão das responsabilidades a terceiros e à exigência de capacitação técnica adequada.

No que se refere à propriedade intelectual, a discussão indica que, embora a legislação assegure os direitos autorais aos autores dos modelos, o caráter colaborativo do BIM torna indispensável o estabelecimento de licenças contratuais claras que permitam o uso, a edição e a continuidade das informações pelo contratante, sem descaracterizar a titularidade autoral. Paralelamente, a gestão de dados e segurança destaca que o uso de ambientes comuns de dados amplia riscos legais e cibernéticos, exigindo contratos mais detalhados quanto aos níveis de acesso, rastreabilidade das informações e responsabilidades sobre perdas de dados.

A discussão sobre padronização e escopos reforça o papel central do *BIM Execution Plan* (BEP) como documento orientador dos processos, esclarecendo que o BEP não substitui o contrato principal, mas deve ser incorporado como adendo formal e ser passível de revisões ao longo do projeto. Por fim, a temática de resolução de disputas e compensações evidencia a carência de mecanismos contratuais específicos para conflitos relacionados ao BIM, apontando a necessidade de abordagens mais colaborativas de resolução e de critérios objetivos para a valoração dos serviços e dos níveis de desenvolvimento dos modelos.

Estrutura e Inclusão do Contrato BIM (T1)	**Diretrizes Identificadas**
Temática A adoção de adendos, apêndices ou protocolos contratuais em projetos BIM é uma prática internacional consolidada, pois permite organizar aspectos técnicos e legais, alinhar expectativas, definir responsabilidades e assegurar a proteção de dados e direitos autorais, contribuindo para maior transparência, colaboração e eficiência em custos e prazos.	• Incluir adendos, protocolos ou apêndices que complementem ou preencham lacunas dos contratos tradicionais no que se refere aos processos de projeto em BIM; • Avaliar qual tipo de documento (dentre adendo, apêndice ou protocolo disponíveis) é mais adequado às necessidades específicas do contrato; • Mencionar explicitamente esses documentos no contrato principal e incorporá-los como anexos formais; • Estabelecer a prevalência dos anexos em relação a possíveis cláusulas conflitantes do contrato original, para garantir segurança jurídica.

Referências: Assaad et al. (2020); Nilchian et al. (2021); Ho (2021); Dao et al. (2021); Alwee et al. (2024); Berema et al. (2021); Faghihi et al. (2022).

Definição de Papéis, Responsabilidades e Habilidades (T2) **Temática** A adoção do BIM exige contratos com responsabilidades bem definidas para evitar disputas, erros e atrasos. Nesse contexto, o Gerente BIM é essencial para coordenar e garantir a integridade do modelo. A falta de qualificação em BIM é um desafio relevante, que pode ser mitigado por cláusulas contratuais que incentivem treinamento e capacitação contínua das equipes.	**Diretrizes Identificadas** • Definir claramente e apresentar em contrato todas as atribuições e responsabilidades dos envolvidos; • Utilizar uma Matriz de Responsabilidades ou o BEP para formalizar essas atribuições, com reconhecimento explícito da parte contratada; • Estender as responsabilidades também a terceiros envolvidos, como subcontratados, consultores e fornecedores; • Nomear formalmente, em contrato, o Gerente BIM, especificando suas funções e responsabilidades com ênfase consultiva e de coordenação; • Incluir cláusulas que exijam competências técnicas específicas em BIM, ou prever treinamentos para a capacitação das partes envolvidas, conforme necessário.

Referências: Ho (2021); Checca et al. (2025); Alwee et al. (2024); Faghihi et al. (2022); Berema et al. (2021); Marinho, Couto e Teixeira, (2022).

Gestão da Propriedade Intelectual e Direitos Autorais (T3) **Temática** A gestão da propriedade intelectual em projetos BIM é complexa devido ao caráter colaborativo do modelo. Para evitar conflitos, os contratos costumam atribuir a propriedade do modelo final ao cliente, garantindo aos autores originais direitos de licença e proteção contra uso indevido, com transferências automáticas para reduzir burocracias.	**Diretrizes Identificadas** • Estabelecer em contrato a garantia da propriedade intelectual e dos direitos autorais aos autores dos projetos e modelos BIM; • Definir acordos de colaboração segura, incluindo cláusulas de sublicenciamento automático para o contratante e demais envolvidos que necessitem de acesso aos modelos e informações autorais; • Especificar, em contrato, a quem se aplicam as licenças concedidas; • Incluir cláusulas que proíbam o uso e a divulgação dos modelos e dados a terceiros não autorizados; • Deixar claro que a colaboração e o vínculo entre modelos não configuram coautoria ou copropriedade, mantendo os direitos autorais como individuais e distintos.

Referências: Assaad et al. (2020); Baharom et al. (2021); Ho (2021); Alwee et al. (2024); Dao et al. (2021);

Gestão de Dados e Segurança (T4) **Temática** A proteção de dados é fundamental no BIM devido aos riscos ampliados de segurança no ambiente digital colaborativo. Para reduzi-los, os contratos devem definir responsabilidades pela segurança da informação, prevendo o uso de um *Commom Data Enviroment* (CDE) e a designação de um Gerente de Informações para controle e acesso aos dados.	**Diretrizes Identificadas** • Definir níveis de acesso com diferentes permissões, com base no papel e nas responsabilidades de cada usuário; • Nomear um Gerente de Informações responsável por coordenar o uso do CDE; • Prever o rastreamento de todas as alterações realizadas nos documentos e modelos; • Incluir no BEP ou no contrato especificações sobre segurança da informação, responsabilidades pelos dados, fluxos de aprovação e uso do CDE; • Realizar backups automáticos e regulares; • Organizar a gestão de acesso com o uso de criptografia, autenticação e controle de versões; • Prever cláusulas de confidencialidade entre as partes, para contribuir com a garantia da segurança dos dados compartilhados.

Referências: Assaad et al. (2020); Baharom et al. (2021); Ho (2021); Alwee et al. (2024); Dao et al. (2021);

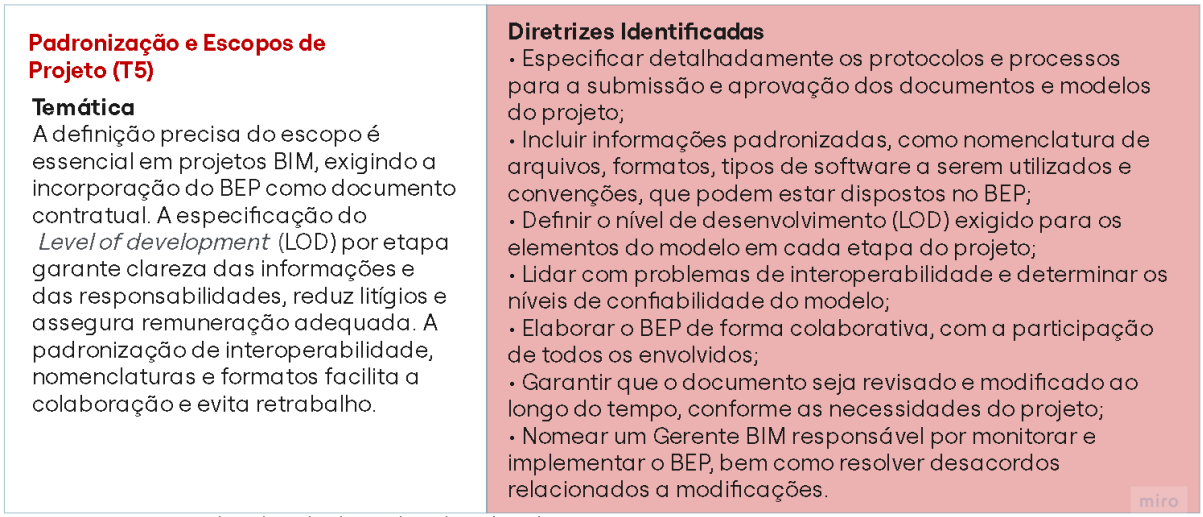


Figura 3: Diretrizes levantadas conforme temáticas identificadas na literatura.

3. Análise Documental

A análise documental baseou-se nos contratos fornecidos por construtoras e incorporadoras de Curitiba–PR selecionadas para o estudo. Das 14 empresas contatadas, seis enviaram anexos e documentos complementares, e quatro disponibilizaram os contratos jurídicos na íntegra. Ao todo, foram analisados 23 documentos contratuais, sendo: 4 Contratos Jurídicos Padrões, 5 Planos de Execução BIM (PEB), 2 Mandatos BIM, 1 Requisito de Informação do Projeto, 1 Requisito de Troca de Informação, 2 Documentos de Responsabilidades e Requisitos de Modelagem, 4 Escopos das disciplinas comumente envolvidas nos Projetos, 2 Documentos de Diretrizes de Projeto, 2 Documentos de Métricas de Avaliação.
Além dos documentos das empresas, o estudo também examinou 12 guias de contratação em BIM, sendo 6 brasileiros (G2 a G6) e outros 6 internacionais (G7 a G12) identificados na literatura. Por fim, a análise considerou as normas técnicas vigentes relacionadas à contratação de projetos em BIM, especificamente as ABNT NBR ISO 19650 partes 1 e 2, que tratam da gestão da informação em BIM ao longo do ciclo de vida dos empreendimentos.

Item	Título	Origem	Publicação
G1	Coletânea BIM ABDI: Guia BIM 04 – Contratação e Elaboração de Projetos BIM na Arquitetura e Engenharia	MDIC[1]	2010
G2	Coletânea CBIC: Formas de Contratação BIM – Part 5	CBIC[2]	2016
G3	Guias de Contratação BIM: Conceitos básicos e Requisitos para Contratação BIM - Volume 1	ABDI; BFB[3]	2023
G4	Guias de Contratação BIM: Diretrizes para Contratos BIM - Volume 2	ABDI; BFB[3]	2023
G5	Guias de Contratação BIM: Diretrizes para Licitações BIM - Volume 3	ABDI; BFB[3]	2023
G6	Boas Práticas para a Contratação em BIM – Volume 1	SINAENCO[4]	2024
G7	AIA E203	EUA	2013
G8	ConsensusDOCS 301 BIM Addendum	EUA	2015
G9	AEC BIM Protocol	Reino Unido	2015
G10	CIOB Time and Cost Management Contract	Reino Unido	2015
G11	Guia de Contratação BIM	Portugal	2017
G12	CIC BIM Protocol	Reino Unido	2018

1. MDIC – Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços; 2. CBIC – Câmara Brasileira da Indústria da Construção; 3. ABDI – Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial e BFB – BIM Fórum Brasil; 4. SINAENCO – Sindicato Nacional das Empresas de Arquitetura e Engenharia Consultiva

Figura 4: Guias de contratação em BIM brasileiros e internacionais analisados.

Após a etapa de codificação, procedeu-se à categorização, definida por Bardin [8], como o processo de classificação e reagrupamento dos elementos de um conjunto com base em critérios previamente estabelecidos. Esse procedimento possibilita a organização sistemática do material analisado, favorecendo a identificação de padrões e relações relevantes para o desenvolvimento do estudo. Com base nesses pressupostos, foram definidas seis categorias a partir dos códigos elaborados durante a leitura e análise dos documentos. Tais categorias concentram as principais macrotemáticas relacionadas aos guias BIM, incorporando também as informações extraídas dos materiais disponibilizados pelas empresas participantes.

Categoria 1 (Gestão da Informação) é a mais representativa, destacando a importância de definir claramente escopos, entregáveis, responsabilidades e fluxos de informação desde as fases iniciais do projeto. Os guias BIM recomendam a formalização desses elementos nos contratos, o uso estruturado do CDE, a validação do modelo federado e a redistribuição de tempo e custos para privilegiar etapas iniciais. Entretanto, observam-se divergências normativas, práticas empresariais pouco padronizadas e, em alguns casos, ausência de anexação formal dos escopos aos contratos, além de inconsistências no modelo de compartilhamento e na alocação de esforços ao longo das fases do projeto.

A Categoria 2 (Segurança da Informação) evidencia que, embora amplamente discutida na literatura e nos guias BIM, a proteção de dados e a propriedade intelectual são pouco detalhadas nos contratos empresariais. Os guias recomendam a distinção entre autoria do modelo e dos componentes BIM, a definição clara de licenças de uso, cláusulas de confidencialidade, controle de acessos e regras para subcontratação. Contudo, os documentos analisados apresentam cláusulas genéricas, poucas penalidades, lacunas quanto à proteção de dados no CDE e, em

alguns casos, exigências de cessão integral de direitos autorais, em desacordo com princípios legais.

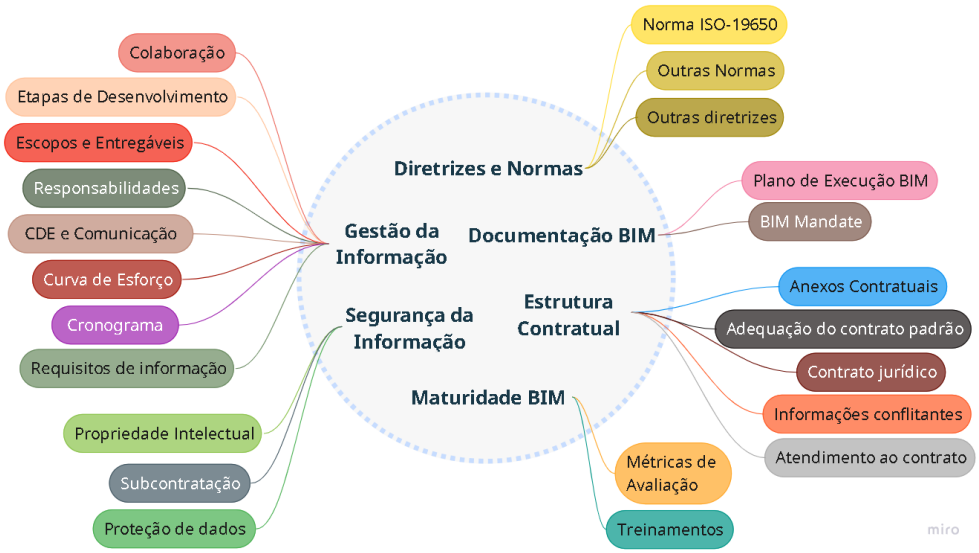


Figura 4: Categorias criadas para análise dos documentos.

A Categoria 3 (Maturidade BIM) ressalta a relevância da mensuração de competências e desempenho em BIM como suporte à tomada de decisão estratégica. Os guias recomendam exigir comprovação de qualificação, maturidade BIM, certificações e estabelecer métricas, indicadores de desempenho, bônus e registros de progresso. Apesar disso, os documentos empresariais analisados mostram avaliações genéricas, sem métricas claras, incentivos ao trabalho colaborativo ou previsão de capacitação, limitando-se, em geral, a orientações operacionais sobre o uso do CDE.

As Categorias 4, 5 e 6 tratam, respectivamente, da estrutura contratual, da documentação BIM e das diretrizes normativas aplicáveis aos processos de contratação em BIM. A Categoria 4 (Estrutura Contratual) evidencia que, embora os guias internacionais recomendem a definição prévia da precedência entre contrato, protocolos e documentos anexos em caso de conflito, não há orientações claras sobre a adoção de contratos específicos para BIM ou sobre a adaptação dos contratos tradicionais ao fluxo BIM. Nos contratos empresariais analisados, predominam modelos padronizados e genéricos, frequentemente sem menção explícita aos documentos BIM ou à resolução de conflitos entre anexos, sendo rara a previsão de hierarquia documental. A Categoria 5 (Documentação BIM) destaca o papel do Mandato BIM e do *BIM Execution Plan* (BEP) como documentos centrais. Os guias atribuem ao Mandato BIM a definição de objetivos estratégicos e ao BEP o detalhamento de responsabilidades, etapas, entregáveis e requisitos técnicos, recomendando sua elaboração em fases pré e pós-contratuais e sua anexação ao contrato. Contudo, nas empresas analisadas, embora alguns BEPs estejam anexados aos contratos, não há distinção entre BEP pré e pós-contrato, nem elaboração colaborativa, sendo comuns documentos não assinados e produzidos exclusivamente pela contratante. Persistem, ainda, inconsistências entre os documentos BIM e os contratos jurídicos, que em alguns casos continuam a reconhecer apenas desenhos e textos como entregáveis. Por fim, a Categoria 6 (Diretrizes e Normas) aponta que os guias e normas, especialmente a ABNT NBR ISO 19650 e referências internacionais como a PAS 1192-2, reforçam a necessidade de requisitos claros

de gestão da informação, da definição do CDE pelo contratante e da formalização desses elementos nos contratos. Apesar de as empresas apresentarem certificações e referências normativas em seus documentos, apenas casos pontuais demonstram aderência efetiva às diretrizes da ISO 19650. Além disso, a multiplicidade de documentos normativos pode aumentar a complexidade contratual, e os sistemas de avaliação de fornecedores existentes ainda não incorporam critérios alinhados ao fluxo colaborativo e à qualidade da modelagem BIM.

4. Conclusão

O artigo analisa diretrizes contratuais para a contratação de projetos em BIM no contexto brasileiro, com foco em empresas da construção civil de Curitiba–PR. A partir de revisão sistemática da literatura e análise documental, identificam-se convergências e lacunas entre as recomendações teóricas e as práticas contratuais adotadas. Os resultados mostram que, apesar da existência de normas e diretrizes consolidadas, como a ABNT NBR ISO 19650, sua aplicação prática é parcial, com contratos ainda baseados em modelos tradicionais e pouco alinhados aos processos BIM. Aspectos críticos, como propriedade intelectual, segurança da informação e maturidade BIM, são tratados de forma genérica, indicando a necessidade de maior padronização e capacitação. Como contribuição, o estudo propõe uma sistematização de diretrizes contratuais adaptadas à realidade brasileira e sugere a ampliação de pesquisas futuras para outros contextos e modelos contratuais mais colaborativos.

Referências

[1] R. Sacks et al., *Manual de BIM: Um guia de modelagem da informação da construção para arquitetos, engenheiros, gerentes, construtores e incorporadores.* 3ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2021.
[2] S. L. Fan, "Comparative study for BIM-based contract administration between the cases in Taiwan and China," J. Chin. Inst. Eng., vol. 43, no. 7, 2020.
[3] T. N. Dao, P. H. Chen, and T. Q. Nguyen, "Critical success factors and a contractual framework for construction projects adopting building information modeling in Vietnam," Int. J. Civ. Eng., vol. 19, pp. 85–102, 2021.
[4] C. Sun et al., "A literature review of the factors limiting the application of BIM in the construction industry," Technological and Economic Development of Economy, 2015.
[5] M. Gusenbauer and N. R. Haddaway, "Which academic search systems are suitable for systematic reviews or meta-analyses? Evaluating retrieval qualities of Google Scholar, PubMed, and 26 other resources," Research Synthesis Methods, vol. 11, no. 2, 2020.
[6] M. H. Baharom, S. N. H. Abdullah, and S. Ismail, "Building information modelling (BIM): Contractual issues of intellectual property rights in construction projects," Int. J. Sustain. Constr. Eng. Technol., vol. 12, no. 1, pp. 170–178, 2021.
[7] R. Assaad et al., "Contractual perspective for BIM utilization in U.S. construction projects," J. Constr. Eng. Manage., vol. 146, no. 12, Art. no. 04020128, 2020.
[8] L. Bardin, *Análise de conteúdo*. São Paulo: Edições 70, 2002.

12345

DO PROJETO À OBRA TRADICIONAL: RESOLUÇÃO DE CONFLITOS EM PROJETOS COLABORATIVOS BIM

Manuela Timóteo, Ana Borges

ptBIM

DO PROJETO À OBRA TRADICIONAL: RESOLUÇÃO DE CONFLITOS EM PROJETOS COLABORATIVOS BIM

Manuela Timóteo [(1)], Ana Borges [(2)]

(1) Instituto Superior Técnico, Lisboa, 0000-0003-0395-7193
(2) Faculdade de Arquitetura da Universidade de Lisboa, Lisboa, 0000-0002-5452-1173

Resumo
A crescente adoção da metodologia Building Information Modeling (BIM) no setor da Arquitetura, Engenharia e Construção tem promovido melhorias significativas na coordenação de projeto e na compatibilização interdisciplinar. Contudo, verifica-se frequentemente uma descontinuidade na transição para a fase de execução, comprometendo o potencial de integração digital ao longo do ciclo de vida do empreendimento. O presente artigo analisa um caso de estudo relativo ao desenvolvimento integral em BIM de um empreendimento misto constituído por uma Estrutura Residencial para Pessoas Idosas (ERPI) e um Aparthotel de 4 estrelas com marca Marriot, cuja fase de projeto foi integralmente modelada e coordenada em ambiente colaborativo digital e desenvolvido pela empresa PMT, Coordenação e Gestão de Projetos, Lda. O estudo baseia-se na análise, entrevista e observação direta da fase de obra e comparação entre os procedimentos previstos em cronograma e os efetivamente adotados em execução. Os resultados evidenciam que, apesar do elevado nível de maturidade BIM na fase de conceção, a ausência de requisitos contratuais específicos, a limitada capacitação digital da equipa de obra e da fiscalização e a inexistência de integração metodológica na fase de execução conduziram a um subaproveitamento do modelo desenvolvido. Conclui-se que a eficácia da metodologia BIM depende de uma abordagem sistémica e transversal, exigindo alinhamento contratual, organizacional e operacional.

1. Introdução

A transformação digital no setor da Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação tem vindo a assumir um papel central na modernização dos processos de conceção, coordenação e gestão de empreendimentos. Neste contexto, a metodologia Building Information Modeling (BIM) afirma-se como uma abordagem estruturante, permitindo a criação de modelos digitais paramétricos integrados, que agregam informação geométrica e não geométrica ao longo do ciclo de vida do ativo. A adoção do BIM tem sido associada a melhorias na compatibilização entre especialidades, redução de conflitos em fase de projeto, maior fiabilidade na quantificação dos trabalhos e suporte à tomada de decisão.
Apesar destes benefícios amplamente reconhecidos, diversos estudos apontam para dificuldades na transição entre a fase de projeto e a fase de execução. Em particular, observa-se que, embora o projeto seja desenvolvido integralmente em ambiente BIM, a obra continua

frequentemente a ser conduzida segundo metodologias tradicionais, com recurso predominante a desenhos 2D, medições em folha de cálculo e fluxos de informação fragmentados.
Esta descontinuidade metodológica compromete a continuidade digital do processo e limita o potencial de integração da informação produzida em fase de conceção.
Neste contexto, o presente artigo analisa um caso de estudo referente a um empreendimento misto constituído por uma Estrutura Residencial para Pessoas Idosas (ERPI) e um aparthotel, cujo projeto foi integralmente desenvolvido em metodologia BIM, envolvendo arquitetura e especialidades técnicas em ambiente colaborativo. Contudo, durante a fase de execução, verificou-se uma não utilização do modelo digital, não tendo sido assegurada a sua integração sistemática nos processos de obra por ausência de obtenção de resultados consideráveis a nível de subaproveitamento da plataforma em fases posteriores ao modelo tridimensional, nomeadamente o cronograma de execução.
O objetivo deste trabalho consiste em analisar os fatores que condicionaram a continuidade metodológica entre as fases de projeto e execução, identificando as principais barreiras organizacionais, contratuais e operacionais que influenciaram o processo. Pretende-se, assim, responder à seguinte questão de investigação: quais os fatores críticos que determinam a eficácia da implementação BIM na transição da fase de projeto para a fase de obra?
Para o efeito, procede-se à caracterização do caso de estudo, à descrição da metodologia BIM adotada e à análise comparativa entre os procedimentos previstos e os efetivamente implementados em obra. O contributo deste artigo reside na sistematização das lições aprendidas e na formulação de recomendações para futuras implementações, reforçando a necessidade de uma abordagem integrada e transversal à adoção da metodologia BIM.

2. Enquadramento Teórico

2.1 Evolução da metodologia BIM

A metodologia Building Information Modeling (BIM) emergiu como resposta às limitações dos processos tradicionais baseados em desenho bidimensional (2D), caracterizados por fragmentação de informação, baixa interoperabilidade entre especialidades e reduzida integração ao longo do ciclo de vida do empreendimento. A evolução do BIM pode ser entendida não apenas como uma transição tecnológica, mas como uma transformação processual e organizacional.
Numa fase inicial, o BIM foi predominantemente associado à modelação tridimensional (3D), permitindo a representação paramétrica dos elementos construtivos e a deteção antecipada de conflitos (clash detection). Progressivamente, a metodologia evoluiu para integrar dimensões adicionais de informação, nomeadamente o planeamento temporal (4D), a estimativa e controlo de custos (5D), a sustentabilidade (6D) e a gestão e manutenção do ativo (7D). Esta evolução reflete uma mudança de paradigma: de um modelo gráfico para um modelo informacional [1].
Paralelamente, o conceito de maturidade BIM passou a ser estruturado em diferentes níveis de integração e colaboração, variando desde a utilização isolada de modelos disciplinares até à plena integração em ambiente colaborativo com recurso a um Ambiente Comum de Dados. Esta progressão, conforme revisão não revista por pares evidencia que o BIM não se limita à utilização de software específico, mas implica a redefinição de fluxos de trabalho, responsabilidades e modelos contratuais [2].

Nos últimos anos, a adoção institucional do BIM tem sido impulsionada por orientações governamentais e exigências de contratação pública em vários países, reforçando a sua relevância estratégica no setor da Construção.
Hoje "O BIM é definido como um processo colaborativo de criação e gestão de informação durante todo o ciclo de vida de um ativo construído, estendendo-se além da modelação 3D para incluir tempo (4D), custo (5D) e gestão de ativos. Contudo, a maturidade da sua aplicação permanece heterogénea, sobretudo na articulação entre fases do ciclo de vida do projeto [3].

2.2 BIM na fase de execução

Embora a implementação do BIM na fase de projeto esteja amplamente consolidada, em Portugal e no Mundo, a sua aplicação na fase de execução continua a revelar desafios significativos. Teoricamente, o modelo digital desenvolvido em fase de conceção deverá servir como base para o planeamento construtivo, controlo de custos, gestão de alterações e produção do modelo "as built".
Na fase de execução, o BIM pode assumir diversas funcionalidades estratégicas, tais como:
-Planeamento 4D, permitindo simular a sequência construtiva e otimizar a organização do estaleiro;
-Controlo 5D, integrando medições e custos diretamente associados aos elementos modelados;
-Gestão de alterações, assegurando rastreabilidade e atualização contínua da informação;
-Apoio à coordenação em obra, reduzindo ambiguidades interpretativas;
-Produção do modelo as built digital, essencial para a fase de operação e manutenção [4].
Contudo, a literatura evidencia que a transição do modelo de projeto para a sua utilização efetiva em obra depende de fatores críticos como a capacitação da equipa de execução, a existência de requisitos contratuais claros, a interoperabilidade entre plataformas e a definição prévia de um Plano de Execução BIM (BEP) abrangente.
Quando o modelo não é integrado nos processos de obra, verifica-se uma regressão metodológica, mantendo-se práticas tradicionais paralelas, como a utilização predominante de desenhos 2D, folhas de cálculo independentes e comunicação informal de alterações. Esta situação compromete a continuidade digital e reduz significativamente o retorno do investimento efetuado na modelação inicial.

2.3 Principais barreiras à implementação BIM

A literatura identifica múltiplas barreiras à implementação eficaz do BIM, particularmente na fase de execução, que podem ser agrupadas em três dimensões principais: organizacional, contratual e tecnológica.
a) Barreiras organizacionais
A resistência à mudança constitui uma das barreiras mais recorrentes. A adoção do BIM implica alteração de rotinas estabelecidas, redefinição de responsabilidades e necessidade de formação técnica especializada. Em contextos onde a cultura organizacional é fortemente orientada para métodos tradicionais, a aceitação do modelo digital como ferramenta central de decisão pode ser limitada.
Adicionalmente, a ausência de liderança clara e de uma estratégia transversal de transformação digital tende a conduzir a implementações parciais e desarticuladas.
b) Barreiras contratuais

A estrutura tradicional dos contratos de empreitada, frequentemente baseada em documentação 2D e medições convencionais, pode não contemplar obrigações específicas relativas à utilização do modelo BIM em obra.
Quando não existem requisitos explícitos quanto à atualização do modelo, utilização para medições, o incentivo à sua aplicação prática torna-se reduzido.
A fragmentação contratual entre projetistas e empreiteiros constitui igualmente um fator crítico, dificultando a continuidade informacional entre fases.
c) Barreiras tecnológicas e operacionais
Apesar da crescente disponibilidade de software e plataformas colaborativas, persistem desafios relacionados com interoperabilidade, gestão de versões e infraestrutura digital em estaleiro. A utilização eficaz do modelo requer equipamentos adequados, acesso em tempo real à informação e procedimentos bem definidos para validação e atualização de dados.
Além disso, a ausência de competências específicas em BIM por parte das equipas de obra pode conduzir à subutilização do modelo, mesmo quando este se encontra tecnicamente preparado para suportar os processos construtivos [5].

3. Metodologia

A metodologia adotada neste estudo baseia-se no método analítico-descritivo proposto por [6], que permite analisar um fenómeno concreto, organizando informação empírica e interpretando-a de forma estruturada.
O estudo foi desenvolvido em três etapas principais.
Numa primeira fase, realizou-se uma análise bibliográfica sobre a evolução da metodologia BIM, a sua aplicação na fase de execução e as principais barreiras identificadas na literatura. Em simultâneo, procedeu-se à análise documental do caso de estudo — o empreendimento Lar do Cobre — incluindo modelos BIM desenvolvidos, relatórios de coordenação e documentação técnica relevante.
Numa segunda fase, foram realizadas entrevistas com perguntas estruturadas e abertas aos agentes diretamente envolvidos no projeto e na fase de obra. As questões incidiram sobre a aplicação prática da metodologia BIM, a sua compreensão pelos intervenientes e as dificuldades sentidas durante a execução.
Por fim, procedeu-se à transcrição e organização dos principais pontos identificados nos relatos dos entrevistados. A informação foi analisada por categorias temáticas, permitindo identificar fatores que condicionaram a utilização efetiva do modelo BIM na fase de execução e sustentar as conclusões do estudo.

3.1 Caracterização do Caso de Estudo

O caso de estudo corresponde a um empreendimento misto composto por uma Estrutura Residencial para Pessoas Idosas (ERPI) e um Aparthotel, localizado numa zona urbanizada do concelho de Cascais, caracterizada por tecido habitacional predominante de dois a três pisos. O projeto insere-se numa área estratégica de desenvolvimento urbano, visando responder simultaneamente à procura do setor habitacional sénior e à dinâmica turística da freguesia.
O conjunto edificado encontra-se implantado num terreno com área bruta aproximada de 11 106,77 m², apresentando topografia irregular, com declive no sentido nascente–poente. O plano de desenvolvimento urbano foi concebido em regime de parceria público-privada, envolvendo corresponsabilidade entre entidades públicas, proprietárias do terreno, e entidades privadas

responsáveis pela promoção e construção dos edifícios. Esta estratégia enquadra-se num modelo de estímulo ao desenvolvimento económico local [7].
O empreendimento organiza-se em cinco blocos edificados. A ERPI constitui um edifício autónomo composto por dois corpos interligados, sendo o primeiro constituído por cinco pisos e 56 unidades de alojamento, e o segundo por quatro pisos e 48 unidades. Ambos os corpos encontram-se interligados vertical e horizontalmente através de núcleos de circulação compostos por escadas e ascensores.
O Aparthotel, classificado com categoria de quatro estrelas, integra um edifício principal de dois pisos e blocos complementares de três pisos, totalizando 79 unidades de alojamento destinadas a uso turístico.
O projeto apresenta adequada exposição solar e integração climática, assegurando conectividade funcional com o centro urbano de Cascais. O desenho urbano e o projeto paisagístico foram desenvolvidos de forma integrada, promovendo continuidade espacial, articulação de fluxos pedonais e valorização da relação entre edificado e espaço público.
A diversidade funcional do empreendimento, associada à sua inserção urbana estratégica, implicou elevado grau de complexidade técnica e regulamentar, envolvendo múltiplas especialidades e decisores. O objetivo do investimento assentou numa perspetiva de longo prazo, conciliando desenvolvimento urbano, valorização turística e resposta às necessidades habitacionais sénior, exigindo um processo de coordenação interdisciplinar estruturado e suportado em metodologia BIM, com certificação LEED e Classe Energética A+ como objetivo.



Figura 1 – Modelo BIM 3D da ERPI

3.2 Estratégia BIM adotada

A estratégia BIM implementada no empreendimento assentou na modelação integral do projeto em ambiente digital colaborativo, envolvendo arquitetura e especialidades técnicas desde as fases iniciais.
Foram utilizados os softwares **Autodesk Revit 2024** e **CYPE 2024**, assegurando-se a interoperabilidade entre plataformas através do formato aberto IFC (Industry Foundation Classes), o que permitiu a partilha de modelos entre projetistas, promotores e equipa de execução, com auxílio do Clash detection.
O nível de desenvolvimento (LOD) [8] foi definido de acordo com as necessidades de cada fase, garantindo que os modelos incluíam objetos paramétricos com propriedades técnicas

adequadas à compatibilização, análise e extração de quantidades. O modelo foi concebido como ferramenta de coordenação interdisciplinar e suporte à tomada de decisão [9].

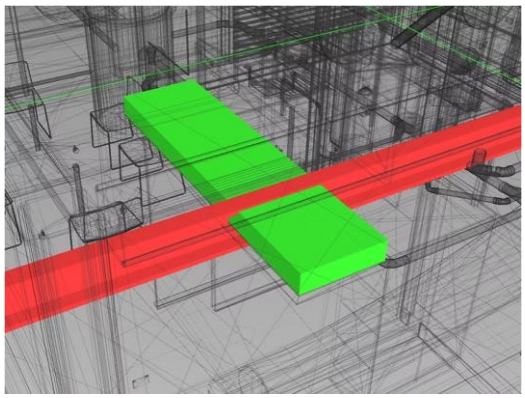


Figura 2 – Exemplo de clash detection

A gestão do processo de projeto e da informação modelada foi tratada de forma articulada, reconhecendo-se que a eficácia do BIM depende não apenas da tecnologia utilizada, mas também da coordenação entre intervenientes e da definição clara de responsabilidades. A diversidade de agentes envolvidos exigiu distinção entre funções de gestão e coordenação do modelo, procurando assegurar coerência informacional ao longo da fase de projeto [10].

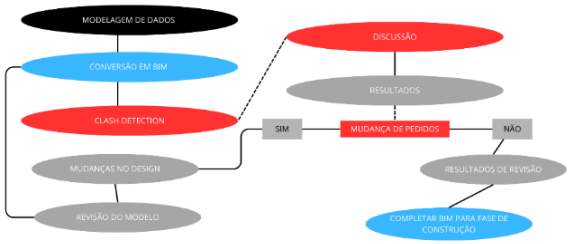


Figura 3 – Fluxo de informação previsto vs real

3.3 Método de análise

O método de análise adotado teve como objetivo avaliar a discrepância entre o modelo desenvolvido em fase de projeto e a sua efetiva aplicação na fase de execução, à luz dos conceitos apresentados no enquadramento teórico.

A análise baseou-se em três instrumentos principais:

- **Observação direta**, através do acompanhamento dos procedimentos adotados em obra, com especial enfoque na utilização (ou não) do modelo BIM nos processos de decisão e coordenação;
- **Análise documental**, incluindo verificação de modelos digitais, desenhos extraídos, relatórios de coordenação e documentação produzida durante a execução;
- **Comparação entre planeado e executado**, permitindo identificar diferenças entre a estratégia BIM inicialmente definida e as práticas efetivamente implementadas em obra.

Esta abordagem possibilitou identificar níveis de continuidade ou ruptura metodológica entre as fases de projeto e execução, bem como os fatores que condicionaram a utilização do modelo digital no contexto real da obra.

4. Resultados

4.1 Nível de utilização do modelo em obra

A avaliação do nível de utilização do modelo BIM em obra foi realizada com base nas entrevistas aos agentes diretamente envolvidos na execução, bem como na análise documental do processo.

Os relatos evidenciam que a leitura e interpretação das peças de projeto constituíram uma dificuldade para parte da equipa de obra. Embora alguns intervenientes referissem possuir formação técnica, verificou-se limitação na capacidade de utilizar diretamente a informação proveniente do modelo BIM ou dos desenhos dele extraídos. O modelo digital não foi adotado como ferramenta corrente de consulta e apoio à decisão, mantendo-se a predominância de práticas tradicionais baseadas em plantas 2D.

Adicionalmente, foram identificadas situações de desalinhamento funcional entre os agentes envolvidos. Em alguns casos, tarefas de revisão técnica foram assumidas por intervenientes cuja função formal não correspondia a essa responsabilidade, evidenciando fragilidade na definição de papéis e na estrutura de coordenação.

No que respeita ao nível de desenvolvimento (LOD), o projeto apresentava maturidade adequada na fase de conceção, com geometria devidamente definida, níveis e cotas especificados e elevada compatibilização entre especialidades. A fase de projeto evidenciou forte partilha de informação e coordenação horizontal entre equipas técnicas.

Contudo, na fase de execução, observaram-se limitações na comunicação vertical entre promotor, projetistas e construtor. Foram registadas divergências quanto a decisões construtivas relevantes, nomeadamente na opção por sistemas estruturais pré-fabricados em substituição de soluções inicialmente previstas em alvenaria e betão armado. Estas alterações ocorreram sem integração sistemática no modelo digital, comprometendo a sua atualização e continuidade informacional.

A análise documental revelou ainda predominância de comunicação assíncrona e unidirecional, frequentemente utilizada como mecanismo de salvaguarda formal, em detrimento de um processo colaborativo transparente e estruturado conforme preconizado pela metodologia BIM.

Verificou-se que o modelo BIM não foi utilizado de forma sistemática em obra, sendo substituído por documentação 2D e comunicação informal. As alterações realizadas durante a execução não foram integradas no modelo, comprometendo a rastreabilidade das decisões e a atualização da informação.

De forma global, os resultados indicam que, apesar da maturidade técnica do modelo em fase de projeto, a sua integração efetiva na obra foi limitada, traduzindo-se numa descontinuidade metodológica entre conceção e execução.

4.2 Principais desvios identificados

Entre os principais desvios identificados destaca-se a comunicação como fator crítico na descontinuidade entre projeto e execução.

Verificou-se que os modelos e desenhos produzidos pela equipa de projeto apresentavam elevado nível de detalhe e precisão técnica. Contudo, essa informação não foi acompanhada por

mecanismos eficazes de tradução operacional para os diferentes níveis hierárquicos da equipa de obra. A ausência de estratégias de simplificação e adaptação da informação técnica dificultou a sua compreensão e aplicação prática, especialmente entre trabalhadores com menor contacto prévio com metodologia BIM.
Adicionalmente, não foi estabelecido um processo estruturado e uniforme para gestão de revisões, emissão de detalhes construtivos e consolidação de diretrizes técnicas. As alterações ocorridas em obra não foram sistematicamente integradas no modelo digital, comprometendo a sua atualização contínua e a rastreabilidade das decisões.
Observou-se ainda ausência de retroalimentação (feedback) em tempo útil entre execução e modelo, o que impediu que o BIM funcionasse como ferramenta dinâmica de apoio à construção. Em consequência, o modelo deixou de refletir a realidade construída, reduzindo a sua utilidade para controlo, coordenação e eventual produção de modelo "as built".
De forma sintética, os principais desvios identificados relacionam-se com falhas na comunicação vertical, ausência de padronização de processos de revisão e inexistência de integração sistemática das alterações executadas no modelo digital, evidenciando uma rutura entre maturidade técnica do projeto e capacidade operacional em obra.

4.3 Impactos observados

A descontinuidade entre o projeto desenvolvido em BIM e a sua aplicação na fase de execução teve impactos a nível financeiro, organizacional e contratual.
Do ponto de vista financeiro, verificaram-se situações de retrabalho e ajustamentos no planeamento, resultantes da falta de integração das alterações no modelo digital. Esta situação contribuiu para perda de eficiência e impacto nos prazos de execução.
A nível organizacional, observou-se aumento da complexidade na coordenação entre intervenientes, com recurso frequente a comunicação informal e validações paralelas. Tal dinâmica fragilizou a estrutura de responsabilidades inicialmente definida.
No plano contratual, divergências quanto a decisões construtivas durante a obra afastaram o desenvolvimento do projeto dos objetivos inicialmente estabelecidos.
De forma geral, os impactos traduziram-se em perda de eficiência temporal e redução do potencial de otimização previsto com a adoção da metodologia BIM.

5. Discussão

Os resultados obtidos indicam que a principal causa da não atualização do modelo BIM na fase de execução esteve associada a fragilidades na comunicação entre os diferentes agentes envolvidos, particularmente no contexto da parceria público-privada que enquadra o empreendimento.
A multiplicidade de intervenientes – promotor privado, construtor, projetistas e entidade pública – introduziu diferentes níveis de decisão e responsabilidade, dificultando a consolidação de um fluxo informacional contínuo. A ausência de alinhamento claro quanto às obrigações relativas à atualização do modelo contribuiu para a sua progressiva desvinculação da realidade construída.
Observa-se que, apesar da maturidade técnica do modelo, a sua eficácia dependia de uma cultura organizacional colaborativa. Conforme referido na literatura, a implementação do BIM não é apenas um processo tecnológico, mas também social e organizacional. A falta de

comunicação estruturada e de integração vertical entre níveis hierárquicos limitou a utilização do modelo como ferramenta dinâmica de apoio à execução.
Verificou-se igualmente que decisões construtivas relevantes foram tomadas sem a correspondente integração no modelo digital, o que comprometeu a rastreabilidade e a coerência informacional do projeto. Este fenómeno evidencia que a continuidade metodológica depende da articulação entre tecnologia, processos e pessoas.
A análise reforça, assim, a ideia de que o BIM apenas atinge o seu potencial quando sustentado por uma estratégia transversal que integre dimensão técnica, organizacional e contratual. A ausência desta integração conduz ao subaproveitamento do investimento realizado na modelação e reduz o impacto transformador da metodologia na fase de obra.

6. Recomendações

Conforme os requisitos analisados, o maior contributo académico que se pretende que seja alcançado com este estudo, consiste em criar relações (entre pessoas e modelos) dentro de um contexto de transparência, em que os impactos financeiros e organizacionais sejam mitigados através do estímulo à integração e interoperabilidade dos formatos de documentos a serem recebidos e enviados, por vias de acordo comum ou contratual. Neste sentido, torna-se essencial que as partes interessadas retroalimentem o modelo, quer na sua componente semântica, quer sintática.
Para tal, destaca-se a obrigatoriedade de formação prévia das equipas, de modo a compreenderem o seu papel individual, a sua relação com o modelo e o funcionamento base do sistema BIM. A capacitação de todos os intervenientes é determinante para reduzir ambiguidades e promover uma utilização eficaz do modelo em contexto de obra.
Adicionalmente, revela-se fundamental a atribuição de funções específicas de gestão e coordenação, capazes de estruturar a informação e reduzir o ruído comunicacional, promovendo alinhamento com os objetivos definidos para o empreendimento. A atuação destes agentes deverá ser transversal às fases de projeto e execução.
Outra contribuição relevante deste estudo prende-se com a necessidade de definir indicadores de maturidade BIM ao longo de todas as fases do ciclo de vida do empreendimento, com especial enfoque na fase de execução. A monitorização destes indicadores permite mapear fragilidades e orientar processos de melhoria contínua.
Complementarmente, recomenda-se a formalização da utilização do BIM através de instrumentos contratuais específicos, que estabeleçam a obrigatoriedade de utilização e atualização do modelo digital durante a execução da obra, bem como a definição clara de responsabilidades entre os intervenientes.
Sugere-se ainda a implementação de um Plano de Execução BIM (BEP) específico para a fase de obra, no qual sejam definidos os usos do modelo, os fluxos de validação da informação, os procedimentos de atualização e os papéis dos agentes envolvidos.
Por fim, reforça-se a importância da adoção de estratégias de formação contínua e acompanhamento em obra, garantindo que os diferentes níveis hierárquicos compreendem e utilizam o modelo BIM como ferramenta ativa de apoio à decisão e não apenas como produto da fase de projeto.

7. Conclusões

O caso de estudo demonstra a nível conclusivo que o projeto possui maturidade digital sob ponto de vista de conceção embora tenha sido como um texto escrito por vários autores teve como consequência responsabilidade de criação transversal todos os sistemas construtivos propostos, em que se complexificou no seu limiar que ao mesmo tempo não se alcança o nível de pertencimento e colaboração homogéneo e estratégico ao seu planejamento.
A ausência de uma visão estratégica acerca do Lar do Cobre careceu de uniformidade entre as diversas vozes que ali ecoavam onde observou-se que o potencial de produção e disseminação de informações em BIM, foi comprometido devido a ausência de sua adequada coordenação e gestão.
Portanto isto comprova que a teoria dos sistemas complexos e potencializada pelas redes e sistemas em um objetivo comum uma vez que basta que qualquer fator imprevisível aconteça e elementos se desaglutinam.
A transformação digital exige sistemática da importância de diversas vertentes de conhecimento

Referências

[1] ANFACER, "Do 3D ao 7D: Entenda todas as dimensões do BIM," ANFACER, 2026. [Online]. Available: https://www.anfacer.org.br/noticias/do-3d-ao-7d-entenda-todas-as-dimensoes-do-bim. Accessed: 26-Feb-2026.
[2] P. Lourenço, J. Arantes, and M. Costa, "Barriers to the Implementation of Building Information Modeling (BIM) in Late-Adopting Countries in the European Union: The Case of Portugal," Preprint, não revisto por pares, 2024.
[3] ISO, ISO 19650-1: " Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works — Information management using building information modelling — Part 1: Concepts and principles, " International Organization for Standardization (ISO) 2018.
[4] C. M. Eastman, P. Teicholz, R. Sacks, e K. Liston, BIM handbook: a guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers, and contractors, Hoboken, NJ, EUA: Wiley, 2008.
[5] L. Manzione, "Proposição de uma estrutura conceitual de gestão do processo de projeto colaborativo com o uso BIM," Ph.D. dissertation, Univ. Politécnica de São Paulo, São Paulo, Brazil, 2013.
[6] Eco, U. Como se faz uma tese. Lisboa: Editorial Presença. 2016 (edição original italiana: Come si fa una tesi di laurea, 1977)
[7] PMT Engenharia e Arquitetura Lda., "Memória descritiva justificativa do empreendimento Lar do Cobre." Cascais, Portugal, 2019, Documento técnico, não revisto por pares.
[8] Building and Construction Authority, Singapore BIM Guide, Singapura, 2012.
[9] M. Wideman, "Project and Program Risk Management: A Guide to Manage Project Risks and Opportunities", 1992.
[10] A. Moum, C. Koch, and T. I. Haugen, “What did you learn from practice today? Exploring experiences from a Danish R&D effort in digital construction,” Advanced Engineering Informatics, vol. 23, no. 3, pp. 229–242, Jul. 2009.

12345

3

openBIM e Interoperabilidade

ptBIM

12345

PLATAFORMA BIMCER COMO REPOSITÓRIO DE OBJETOS BIM DA INDÚSTRIA CERÂMICA

Nilza Paraíba, Carlos Calças, Sílvia Vara, Paulo Soeiro, Miguel Azenha, Mohamad El Sibaii, José Granja, Pedro Roseiro

ptBIM

PLATAFORMA BIMCER COMO REPOSITÓRIO DE OBJETOS BIM DA INDÚSTRIA CERÂMICA

Nilza Paraíba [(1)], Carlos Calças [(2)], Sílvia Vara [(3)], Paulo Soeiro [(4)], Miguel Azenha [(5)], Mohamad El Sibaii[(6)], José Granja[(7)], Pedro Roseiro[(8)]

(1) Revigres, Indústria de Revestimentos de Gres, Lda, Águeda
(2) Sanindusa, Indústria de Sanitários SA, Aveiro
(3) Visabeira, Investigação e Desenvolvimento SA, Viseu
(4) Visabeira, Investigação e Desenvolvimento SA, Lisboa
(5) Universidade do Minho, Braga, 0000-0003-1374-9427
(6) Universidade do Minho, Braga, 0000-0002-0810-9241
(7) Universidade do Minho, Braga, 0000-0002-0858-4990
(8) INOV - Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores Inovação, Aveiro, 0000-0002-6570-2834.

Resumo

A Plataforma BIMCer constitui uma infraestrutura digital desenvolvida para centralizar e disponibilizar objetos BIM normalizados da indústria cerâmica, promovendo a interoperabilidade e a integração eficiente dos produtos no ambiente de construção digital. Inserida na Agenda Mobilizadora ECP - Ecocerâmica e Cristalaria de Portugal, cofinanciada pelo Plano de Recuperação e Resiliência, a BIMCer, para além de disponibilizar uma biblioteca pública de objetos BIM, visa promover a uniformização da representação digital dos produtos cerâmicos, facilitando a sua utilização em processos colaborativos de conceção, construção e manutenção de edifícios.

A criação de uma biblioteca de objetos BIM exige uma estrutura de dados alinhada com as normas internacionais de normalização da informação. A ISO 22014 [1] estabelece os requisitos para bibliotecas digitais de produtos, assegurando consistência e interoperabilidade. Em conjunto com as normas EN ISO 23386 [2] e EN ISO 23387 [3], possibilita a definição e governança de propriedades através de "Product Data Templates" (PDTs). A adoção destes templates é essencial para normalizar a informação alfanumérica, garantir a coerência do mercado e assegurar uma abordagem responsável ao desenvolvimento das bibliotecas de objetos.

A primeira versão funcional da plataforma BIMCer já foi desenvolvida, integrando os PDTs e os objetos BIM correspondentes num ambiente unificado de gestão e disponibilização de dados. Esta implementação demonstra a aplicação prática da metodologia e constitui um passo concreto para a criação de um repositório nacional para produtos da construção.

1. Introdução

A transformação digital no setor da Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação (AECO), tem sido impulsionada pela adoção da metodologia Building Information Modeling (BIM). No entanto, a eficácia da metodologia BIM depende de forma crítica da qualidade e da normalização dos dados associados aos objetos digitais que representam os produtos de construção. A proliferação de dados não estruturados e a ausência de uma linguagem comum na representação digital constituem uma barreira à interoperabilidade, à automação, à colaboração eficiente entre os diversos agentes ao longo do ciclo de vida da construção e, em última instância, à plena concretização dos benefícios do BIM.
Esta lacuna dificulta a comparação entre produtos, a integração em software de projeto e a automatização de verificações. A plataforma BIMCer – Biblioteca Pública de Objetos BIM da Indústria Cerâmica, propõe uma resposta a esta lacuna ao disponibilizar uma biblioteca de objetos BIM que promove a utilização de dados semânticos coerentes, representando também a materialização da visão estratégica do consórcio: Impulsionar o primeiro ecossistema português de dados normalizados da construção.
O impacto da BIMCer não é apenas digital. A plataforma promove a economia circular, disponibilizando objetos BIM alinhados com as últimas versões dos PDTs, mas que refletem também as diretrizes mais atuais do Passaporte Digital do Produto (PDP). Pela primeira vez na publicitação de objetos BIM em Portugal, será privilegiada a visibilidade de dados de sustentabilidade dos produtos.
Este artigo descreve a génese da primeira versão funcional da plataforma BIMCer. Mais do que apresentar uma solução técnica, demonstra um modelo replicável de como uma estratégia concertada, aliando investigação, indústria, normalização e compromisso climático, tem o potencial de projetar setores tradicionais como o da cerâmica e cristalaria para as linhas da frente da economia circular digital.

2. Enquadramento normativo e técnico

A criação de bibliotecas de objetos BIM, que sirvam de alicerce para uma estratégia nacional consistente, não pode ser um processo discricionário. Para garantir que a informação é "machine-readable", fiável e útil ao longo de todo o ciclo de vida de um ativo construído, é essencial seguir um quadro normativo abrangente e internacionalmente reconhecido.

2.1. Normas e modelos de dados

A harmonização da informação no ambiente BIM assenta num conjunto de normas internacionais que definem a linguagem e a estrutura para o intercâmbio de dados. A ISO 22014 [1] constitui uma referência fundamental para a criação de bibliotecas de objetos, estabelecendo requisitos claros para a estrutura e o conteúdo dos objetos, de forma a garantir níveis consistentes e adequados de detalhe geométrico e informacional.
Complementarmente, o binómio EN ISO 23386 [2] e EN ISO 23387 [3] desempenha um papel essencial na governança dos dados. A EN ISO 23386 [2] define a metodologia para caracterizar e gerir propriedades num dicionário de dados interligado, enquanto a EN ISO 23387 [3] estabelece os princípios e a estrutura para os PDTs.

Os PDTs são a espinha dorsal da normalização semântica, funcionando como "contentores" de propriedades pré-definidas e normalizadas que, quando preenchidos com dados específicos de um fabricante, originam os Product Data Sheets (PDS). Esta abordagem assegura que diferentes fabricantes utilizam a mesma estrutura de dados para descrever produtos semelhantes, facilitando a comparação automática e a integração nos softwares de projeto e orçamentação.

2.2. Interoperabilidade e formatos abertos

A interoperabilidade requer a troca fiável de informação entre diferentes ferramentas de autoria e gestão BIM. O Industry Foundation Classes (IFC), normalizado pela ISO 16739 [4], constitui o formato aberto e neutro mais adotado para partilha de dados BIM, permitindo preservar geometria e propriedades sem dependência de software proprietário. Em paralelo, a série ISO 19650[5], enquadra a gestão da informação ao longo do ciclo de vida dos ativos, definindo princípios para organização, entrega e troca de informação em contextos colaborativos.

2.3. Definições operacionais

Para garantir consistência terminológica ao longo do projeto, adotam-se as seguintes definições operacionais:

• Product Data Template (PDT): Modelo estruturado e normalizado que define, de forma sistemática, as propriedades e atributos que um determinado tipo de produto de construção deve contemplar. Os PDTs são independentes de software e constituem a base para a criação de PDS, garantindo coerência na forma como a informação técnica é organizada e partilhada.

• Propriedade: Característica específica de um produto (ex.: resistência à compressão, cor, Potencial de Aquecimento Global Total). Cada propriedade é definida de forma inequívoca, incluindo tipo de dado (texto, numérico, booleano), unidade de medida e, quando aplicável, uma lista controlada de valores permitidos.

• Grupo de Propriedades: Conjunto lógico e tematicamente coerente de propriedades que descrevem um determinado aspeto de um produto (ex.: propriedades geométricas, de desempenho térmico, ambientais). Esta organização facilita a leitura, organização e interoperabilidade dos dados.

• Unidade: Medida padrão associada a uma propriedade numérica (ex.: metros, quilogramas, graus Celsius). A harmonização das unidades é essencial para assegurar comparabilidade, integridade e consistência técnica entre diferentes fontes e sistemas.

• Taxonomias Setoriais: Sistemas de classificação hierárquica utilizados para organizar produtos, componentes e processos de construção, facilitando a pesquisa, indexação e gestão da informação ao longo do ciclo de vida dos ativos (ex.: ETIM, Omniclass).

3. O impacto estratégico das bibliotecas de objetos no panorama nacional: Uma visão para Portugal

A BIMCer não se assume apenas como uma Biblioteca Pública e Aberta que disponibiliza objetos BIM e dá visibilidade aos produtos dos Fabricantes; é um componente estratégico para uma visão nacional que vise apoiar a digitalização da construção. A sua existência como repositório centralizado e normalizado de produtos cerâmicos, é um catalisador para a

maturidade digital de todo o setor AECO em Portugal, com implicações profundas na competitividade, sustentabilidade e inovação.

3.1. Lições de liderança global: Estratégias BIM internacionais

Para compreender plenamente o alcance e o potencial transformador da BIMCer, é essencial analisar as estratégias adotadas por países que lideraram a implementação do BIM. Estas experiências podem funcionar como referência prática e demonstram a importância de uma abordagem coordenada, estruturada e alinhada com normas globais.

O Reino Unido, pioneiro mundial na regulamentação do BIM, mostrou como uma estratégia nacional coerente pode acelerar a maturidade digital do setor. A NBS National BIM Library, integrada no NBS Source [7], tornou-se um marco de referência, não só por assegurar a conformidade dos objetos com normas aplicáveis, mas também por facilitar a sua integração em sistemas de especificação, orçamentação e gestão de projetos. Este ecossistema comum permitiu ganhos significativos de produtividade, previsibilidade e qualidade na construção.

Na Noruega e nos países nórdicos, a prioridade recaiu na interoperabilidade sustentada em princípios OpenBIM. A adoção do buildingSMART Data Dictionary (bSDD) [6] permite estabelecer termos, propriedades e classificações de forma consistente e universal, garantindo que diferentes plataformas e softwares conseguem comunicar sem perda de informação. A utilização de PDTs alinhados com normas como a prEN 17473 e a ISO 23387 [3] tem sido determinante para viabilizar análises mais avançadas, como: cálculo automatizado da pegada de carbono; criação de passaportes digitais de materiais; apoio a estratégias de economia circular na construção. Este foco na qualidade e estruturação dos dados posiciona a região como líder global em processos BIM orientados à sustentabilidade.

No âmbito da sua visão estratégica Smart Nation, a Singapura implementou a plataforma CORENET X [8], que utiliza bibliotecas de objetos normalizados para automatizar a verificação da conformidade regulamentar (code checking), reduzindo significativamente a burocracia e aumentando o rigor na conformidade técnica e regulamentar

3.2. A BIMCer: Um pilar para a infraestrutura BIM nacional e para a competitividade global

Inspirada em iniciativas internacionais consolidadas, a BIMCer constitui o primeiro esforço em Portugal para criar uma biblioteca digital de produtos baseada em normas reconhecidas (ISO 23386 [2], ISO 23387 [3] e EN 17412 [9]). A plataforma resultou de um processo colaborativo envolvendo vários players relevantes da indústria cerâmica, especialistas BIM e instituições setoriais e académicas, o que permitiu desenvolver PDTs harmonizados, validados tecnicamente e testados em modelos IFC. Estes resultados tangíveis demonstram a viabilidade de uma abordagem nacional estruturada para produtos de construção.

A partir destes elementos verificáveis é possível identificar impactos concretos no setor AECO:

• A disponibilização de objetos BIM interoperáveis, construídos de acordo com a IFC (ISO 16739 [4]), reduz ambiguidades e falhas de comunicação entre projetistas, fabricantes e empreiteiros. Estudos internacionais mostram que modelos com dados normalizados diminuem retrabalhos e inconsistências (e.g., CDBB UK, buildingSMART). A BIMCer incorpora estes princípios ao fornecer dados estruturados e verificáveis, testados nos seus protótipos de objetos IFC.

• Ao adotar normas ISO/EN reconhecidas na UE e internacionalmente, os produtos cerâmicos modelados através dos PDTs tornam-se tecnicamente compatíveis com requisitos BIM de

mercados como Alemanha, França, Reino Unido ou países nórdicos, que exigem dados normalizados segundo estas mesmas normas. Este alinhamento normativo constitui um facto verificável, e não uma suposição.
• Os PDTs desenvolvidos permitem incorporar parâmetros relacionados com Declarações Ambientais de Produto (DAP / EPD), permitindo análises de ciclo de vida em fluxos BIM.
• A disponibilidade de uma base de dados padronizada e estruturada de objetos BIM representa um recurso estratégico para entidades públicas e promotores. Tal organização facilita o acesso a informações técnicas confiáveis, fator indispensável para processos de contratação pública que exigem conformidade com normas BIM, como o Decreto-Lei 10/2024 em Portugal e os requisitos obrigatórios adotados em diversos países europeus.
• A normalização dos dados segundo a ISO 23386/87 [2] [3] cria um ecossistema propício ao desenvolvimento de ferramentas de automação, aplicações de verificação de conformidade (checking) e algoritmos de extração de informação.

4. Metodologia: Da definição de PDTs à criação de objetos BIM para fabricantes

O processo de desenvolvimento da plataforma BIMCer e a subsequente criação de objetos BIM normalizados para a indústria cerâmica resultaram de uma metodologia desenhada para garantir a conformidade com as normas internacionais, bem como a aplicabilidade prática para os fabricantes. Este capítulo detalha os passos essenciais, desde a definição dos PDTs até à geração dos objetos BIM em formato IFC, com o objetivo de orientar os fabricantes no processo de digitalização dos seus produtos.
Durante o projeto foram desenvolvidos diversos PDTs (ladrilho cerâmico e todo o leque de peças sanitárias: lavatório de casa de banho, banheira, bidé, tanque, sanita e urinol). Os PDTs foram carregados na plataforma PDTs.pt, onde os dados estão disponíveis para consulta e desenvolvimento futuro. A plataforma possui uma API que permite que plataformas externas interajam com os PDTs criados.

4.1. Definição e Harmonização dos PDTs

O ponto de partida para a normalização da informação foi a criação de PDTs consistentes, completos e devidamente estruturados. Este processo, essencial para assegurar a interoperabilidade, incluiu as seguintes etapas:

4.1.1. Recolha e Análise de Dados

A primeira etapa consistiu na recolha exaustiva e abrangente de parâmetros relevantes para os produtos cerâmicos, a partir de normas ISO e EN específicas, conjuntos de propriedades IFC, classificações setoriais e documentação técnica fornecida pelos fabricantes, incluindo fichas, catálogos e ensaios. Esta abordagem permitiu identificar informação fundamental sobre geometria, desempenho mecânico, térmico e acústico, bem como dados ambientais apresentados nas Declarações Ambientais de Produto.
A estruturação destes dados considerou ainda o Regulamento (UE) 2024/3110, que reformula o enquadramento dos Produtos de Construção, reforçando requisitos de desempenho, conformidade e comunicação técnica, e alinhando a marcação CE com objetivos de sustentabilidade.

Este enquadramento articula-se com o Regulamento (UE) 2024/1781 (Ecodesign), que introduz obrigações relacionadas com durabilidade, reparabilidade, reciclabilidade e impacto ambiental, exigindo informação técnica rigorosa e interoperável ao longo do ciclo de vida.
Paralelamente, foram integradas as diretrizes do Passaporte Digital do Produto (PDP), que estabelece uma estrutura de dados normalizada para assegurar transparência, rastreabilidade e comparabilidade entre produtos de construção. O PDP agrega informação técnica, regulamentar e ambiental, facilitando avaliações de sustentabilidade, certificações e requisitos de economia circular.
A consolidação destas fontes permitiu construir uma base de dados coerente e alinhada com as exigências regulatórias europeias, garantindo que os PDTs incorporam desde o início os parâmetros essenciais de desempenho, conformidade e sustentabilidade necessários à digitalização dos produtos cerâmicos.

4.1.2. Comparação, Normalização e Categorização

Os parâmetros recolhidos foram submetidos a um processo de comparação e compilação numa matriz unificada. O objetivo foi identificar sobreposições, inconsistências e lacunas entre as diferentes fontes. A normalização envolveu a resolução de discrepâncias terminológicas, assegurando que diferentes termos se referiam à mesma propriedade. Foram selecionadas as propriedades mais relevantes, juntamente com a sua nomenclatura padronizada, enquanto as propriedades redundantes ou irrelevantes foram eliminadas. Finalmente, os parâmetros foram organizados em categorias lógicas, como dados de identificação, geométricos, de desempenho, de sustentabilidade e comerciais.

4.1.3. Implementação das Normas EN ISO 23387 e EN ISO 23386

Os parâmetros necessários para caracterizar os produtos foram recolhidos a partir de múltiplas fontes, incluindo normas ISO, conjuntos de propriedades IFC, classificações ETIM e fichas técnicas disponibilizadas pelos fabricantes. Estes parâmetros abrangiam informação essencial, como dados geométricos, características de desempenho e especificações técnicas detalhadas.
Após o processo de normalização, as propriedades foram organizadas em PDTs de acordo com as diretrizes da EN ISO 23387 [3]. Cada propriedade foi associada aos respetivos documentos de referência (por exemplo, normas EN de ensaio), e foram atribuídas unidades de medida e valores enumerados (listas de opções pré-definidas), sempre que aplicável. Em conformidade com a EN ISO 23386 [2], foram definidos conjuntos de atributos tanto para propriedades como para grupos de propriedades.
Um passo crítico consistiu na atribuição de um Identificador Global Único (GUID) a cada propriedade, garantindo a sua identificação inequívoca e a interoperabilidade com outros dicionários de dados globais, como o buildingSMART Data Dictionary (bSDD) [6]. As propriedades foram igualmente ligadas ao dicionário IFC através do atributo relationToOtherDataDictionaries, estabelecendo ligação direta aos URLs das respetivas definições no bSDD [6].

4.1.4. Harmonização com o Passaporte Digital do Produto (PDP)

Um dos elementos diferenciadores da metodologia utilizada foi a harmonização dos PDTs com as diretrizes emergentes do PDP. Esta integração permitiu um alinhamento antecipado do modelo de dados com futuras exigências regulamentares europeias, assegurando que os PDTs passam a incorporar informação crítica relacionada com sustentabilidade e economia circular.

Para esse efeito, foram adicionadas propriedades ambientais relevantes, como o Potencial de Aquecimento Global Total, Potencial de Esgotamento Abiótico e indicadores sobre conteúdo reciclado e reciclabilidade. O objetivo foi transformar os objetos BIM em portadores de informação ambiental estruturada, verificável e interoperável. Esta abordagem não só reforça a conformidade futura, como posiciona a BIMCer para se integrar em ecossistemas digitais orientados para a transparência e rastreabilidade dos produtos.

4.2. Do PDT ao objeto BIM (IFC): O processo para fabricantes

Com os PDTs concluídos, os fabricantes do consórcio (Revigrés e Sanindusa) definiram de forma explicita a informação mínima e recomendada para o formato IFC a disponibilizar na BIMCer. O desafio operacional consistiu em transformar informação técnica frequentemente dispersa (catálogos, fichas técnicas, ensaios e sistemas internos), num objeto BIM padronizado em formato IFC, estruturado e pronto para disponibilização pública, conforme sistematizado nos pontos seguintes**.**

4.2.1. Análise e preenchimento do PDT

O primeiro passo para os fabricantes consistiu na análise do PDT aplicável aos seus produtos:

• Revisão integral dos campos do PDT, distinguindo claramente entre campos obrigatórios e opcionais. Os campos obrigatórios garantem a conformidade mínima e a interoperabilidade dos objetos BIM.

• Interpretação dos tipos de dados exigidos (numérico, texto, booleano, valores enumerados), assegurando que a informação introduzida cumpre o formato e as regras definidas.

• Mapeamento da informação interna, identificando que dados já estavam disponíveis nos sistemas internos (ERP, bases de dados, fichas técnicas, certificações, Declarações Ambientais de Produto) e estabelecendo a correspondência direta com os campos estruturados do PDT.

• Identificação de lacunas de informação, destacando os elementos inexistentes, incompletos ou desatualizados que exigiam recolha adicional ou geração de nova evidência, como relatórios de ensaio, certificados ou cálculos técnicos.

Tabela 1: Exemplo de Campos Essenciais para um Ladrilho Cerâmico (PDT BIMCer):

Categoria de Propriedade	Campos Obrigatórios (Exemplos)	Campos Opcionais (Exemplos)
Identificação	Nome, TipoProduto	FabricanteURL, ReferenciaModelo
Geometria	AlturaNominal, ComprimentoNominal	Retilinearidade, Ortogonalidade
Sustentabilidade	PotencialDeAquecimentoGlobalTotal	VidaÚtilEsperada, SubstanciasPerigosas
Aplicação	EPavimento, ERevestimento	DurabilidadeInterior, EExterno

4.2.2. Modelação geométrica e parametrização

Com a informação do PDT consolidada, o passo seguinte foi a criação da modelação geométrica do produto. Esta modelação foi desenvolvida de forma paramétrica, garantindo a flexibilidade necessária para representar múltiplas variantes do produto a partir de um único modelo base. As principais boas práticas incluem:

• Modelação simplificada e otimizada, criando geometrias adequadas ao ambiente BIM e evitando detalhe excessivo que prejudique o desempenho ou a interoperabilidade entre plataformas.

• Definição rigorosa dos parâmetros, assegurando que os campos do PDT são corretamente associados a parâmetros equivalentes no software de autoria BIM. A consistência da nomenclatura entre PDT e modelo é essencial para garantir uma exportação IFC fiável e facilitar processos posteriores de validação.
• Adequação ao Nível de Desenvolvimento (LOD/LOI), garantindo que o objeto BIM cumpre os requisitos de Nível de Detalhe Geométrico (LOD) e de Nível de Informação (LOI) necessários para cada fase do projeto, em alinhamento com as disposições da série de normas ISO 19650 [5].

4.2.3. Exportação para IFC e Validação

Após a modelação e parametrização, o objeto BIM é exportado para o formato IFC, um passo determinante que requer especial atenção, uma vez que garante a transferência de toda a informação contida no PDT. O processo envolve:
• Mapeamento de Propriedades: Configuração do exportador IFC da ferramenta de autoria para assegurar que os parâmetros do objeto BIM são corretamente associados aos conjuntos de propriedades IFC (IfcPropertySet) e às propriedades definidas no PDT. Esta correspondência é fundamental para manter a consistência semântica dos dados.
• Validação do IFC: Recurso a ferramentas de validação IFC para confirmar a integridade do ficheiro gerado, verificando se a geometria está precisa e se todas as propriedades provenientes do PDT foram incluídas, estruturadas corretamente e estão acessíveis. Esta etapa é essencial para garantir a interoperabilidade entre plataformas e a conformidade com os requisitos de troca de informação do projeto.

4.2.4. Carregamento na Plataforma BIMCer

Após a validação do objeto BIM em formato IFC, este encontra-se apto a ser carregado na BIMCer. A plataforma foi concebida para simplificar este processo, permitindo aos fabricantes gerir de forma centralizada os seus produtos digitais. Cada upload de um ficheiro IFC é submetido a um processo automático de verificação de qualidade, que inclui a verificação do correto preenchimento das propriedades classificadas como "mínimas" e das propriedades opcionais recomendadas. No caso de um ficheiro IFC não cumprir com os critérios definidos, a plataforma permite, ainda assim, o seu carregamento. No entanto, assinala de forma visível para o público em geral que o objeto não cumpre integralmente os requisitos de qualidade estabelecidos pela BIMCer.

5. Arquitetura da plataforma BIMCer

A BIMCer foi concebida como infraestrutura digital em nuvem, orientada à escalabilidade e à gestão centralizada de conteúdos por fabricantes, assegurando simultaneamente acesso público a profissionais AECO. A primeira versão funcional adota um paradigma de marketplace aplicado a objetos BIM, permitindo pesquisa e seleção por categorias e filtros técnicos, com destaque para parâmetros de sustentabilidade.
Para utilizadores AECO, a plataforma disponibiliza acesso gratuito a um catálogo visual e técnico de objetos, suportando filtros avançados e descarga eficiente de múltiplos objetos selecionados. Para fabricantes, disponibiliza um backoffice de gestão de catálogo e ativos digitais associados (IFC e formatos nativos, imagens, desenhos técnicos, fichas e certificados),

bem como indicadores de utilização (visualizações/downloads) e um canal de contacto com utilizadores. O carregamento de ficheiros IFC é acompanhado por verificação automática de qualidade relativamente ao preenchimento de propriedades mínimas e recomendadas, sinalizando desconformidades quando aplicável.

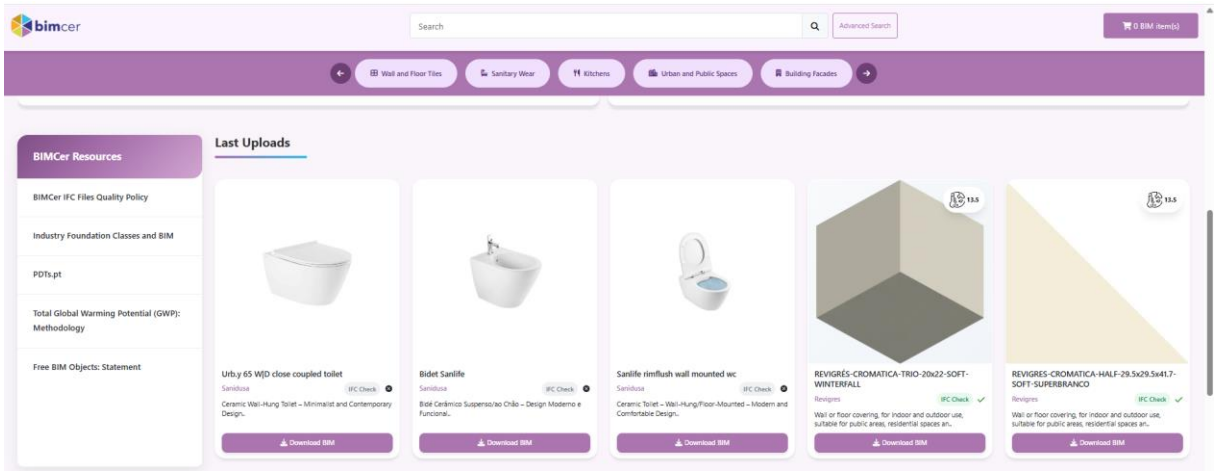


Figura 1: Vista geral da BIMCer

6. Conclusões e Perspetivas Futuras: Um Ecossistema Digital para o Setor da Construção em Portugal

A plataforma BIMCer constitui uma infraestrutura digital estruturante para a indústria cerâmica portuguesa, concebida para apoiar a transformação digital do setor da construção através da normalização e interoperabilidade da informação na origem. Ancorada nas normas ISO 22014 [1], EN ISO 23386 [2] e EN ISO 23387 [3], a abordagem adotada demonstra que a qualidade e a consistência semântica dos dados são condições essenciais para a utilização eficaz de objetos BIM ao longo de todo o ciclo de vida dos ativos construídos. Neste enquadramento, os objetos BIM disponibilizados assumem-se como ativos digitais qualificados, aptos a suportar processos colaborativos, análises técnicas e avaliações ambientais.

O modelo de colaboração entre indústria, academia e entidades setoriais revelou-se determinante para assegurar simultaneamente rigor normativo, validação técnica e alinhamento com as necessidades reais dos diferentes intervenientes do setor AECO. Os resultados obtidos evidenciam que a digitalização efetiva depende da normalização da informação junto dos fabricantes, enquanto agentes responsáveis pela integridade, rastreabilidade e fiabilidade dos dados técnicos disponibilizados ao mercado.

As perspetivas futuras incluem a expansão do repositório para abranger de forma mais ampla o setor cerâmico nacional e a evolução da BIMCer para um potencial Repositório Nacional de Objetos BIM, extensível a outros segmentos da indústria dos materiais de construção. Neste sentido, a BIMCer afirma-se como um contributo relevante para a modernização tecnológica do setor, criando bases para novos desenvolvimentos em automação, sustentabilidade, economia circular e conformidade regulamentar, e posicionando Portugal como participante ativo na consolidação de ecossistemas digitais de dados normalizados para a construção.

Agradecimentos
Este trabalho foi apoiado pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT) do Ministério da Ciência, Tecnologia e Ensino Superior (MCTES) no âmbito da Unidade de I&D Instituto para a Sustentabilidade e Inovação em Estruturas de Engenharia (ISISE), com as referências UID/4029/2025 (https://doi.org/10.54499/UID/04029/2025) e UID/PRR/04029/2025 (https://doi.org/10.54499/UID/PRR/04029/2025), e no âmbito do Laboratório Associado Produção Avançada e Sistemas Inteligentes ARISE com a referência LA/P/0112/2020.
Este trabalho foi desenvolvido no âmbito do projeto ECP - EcoCerâmica e Cristal de Portugal, apoiado pelo Plano de Recuperação e Resiliência (PRR), financiado pela União Europeia – NextGenerationEU, através do IAPMEI, Projeto n.º 76.

Referências

[1] ISO 22014:2024, ”Library objects for architecture, engineering and construction”, International Organization for Standardization (ISO), 2024.
[2] EN ISO 23386:2020, ”Building information modelling (BIM) - Methodology to describe, author and maintain properties in interconnected data dictionaries”, International Organization for Standardization (ISO), 2020.
[3] EN ISO 23387:2020, ”Building information modelling (BIM) - Data templates for construction objects used in the life cycle of built assets”, International Organization for Standardization (ISO), 2020.
[4] ISO 16739-1:2018, ”Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing in the construction and facility management industries - Part 1: Data schema”. International Organization for Standardization (ISO), 2018.
[5] ISO 19650-1:2018, ”Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) - Part 1: Concepts and principles”, International Organization for Standardization (ISO), 2018.
[6] buildingSMART International, ‘buildingSMART Data Dictionary (bSDD),’ Accessed: 12-Jan-2026. [Online]. Available: https://www.buildingsmart.org
[7] NBS, ‘NBS Source / National BIM Library, Accessed: 12-Jan-2026. [Online]. Available: https://source.thenbs.com
[8] Building and Construction Authority (BCA) of Singapore, ”CORENET X”, Accessed: 12-Jan-2026. [Online]. Available: https://www1.bca.gov.sg
[9] EN 17412-1:2020, ”Building Information Modelling - Level of Information Need”, CEN Comité Europeu de Normalização (CEN), 2020.

12345

AVALIAÇÃO DAS REPRESENTAÇÕES GEOMÉTRICAS IFC NO CONTEXTO DE USD E IFC5

Tiago Ricotta, Miguel Azenha

ptBIM

AVALIAÇÃO DAS REPRESENTAÇÕES GEOMÉTRICAS IFC NO CONTEXTO DE USD E IFC5

Tiago Ricotta[(1)], Miguel Azenha [(2)]

(1) Universidade do Minho, ISISE, ARISE, Departamento de Engenharia Civil, Guimarães, Portugal, 0009-0006-8188-6932
(2) Universidade do Minho, ISISE, ARISE, Departamento de Engenharia Civil, Guimarães, Portugal, 0000-0003-1374-9427

Resumo
Este artigo analisa a compatibilidade entre as representações geométricas do esquema IFC (Industry Foundation Classes) e o Universal Scene Description (USD), com o intuito de fundamentar o desenvolvimento do futuro IFC5. A investigação salienta que, enquanto o IFC privilegia o rigor semântico e a parametrização procedimental, o USD foca-se na eficiência da visualização em tempo real. A conversão de IFC para USD resulta frequentemente no "achatamento" de geometrias complexas em malhas estáticas, provocando a perda de inteligência paramétrica e um aumento significativo no tamanho dos ficheiros. Testes práticos indicam que esta limitação restringe o USD a funções consultivas ou visuais. Para o IFC5, recomenda-se a hibridização de esquemas procedimentais e declarativos, a padronização de metadados personalizados no USD e o desacoplamento entre semântica e representação geométrica. Conclui-se que o desafio reside em integrar o desempenho do USD sem sacrificar o rigor técnico essencial para a engenharia e construção.

1. Introdução

A indústria AEC (Arquitetura, Engenharia e Construção) depende crescentemente de tecnologias que disponibilizam modelos digitais para apoiar as decisões dos intervenientes no projeto [1]. O esquema IFC (Industry Foundation Classes), mantido pela buildingSMART International através da norma ISO 16739, é um componente essencial dos modelos digitais [2], desempenhando um papel crítico no suporte a fluxos de trabalho abertos e facilitando a troca de dados entre plataformas [3].
O esquema IFC especifica diversas representações geométricas para a modelação de componentes de construção, que variam em nível de detalhe e objetivo. Em contrapartida, o

USD (Universal Scene Description) foi concebido como uma estrutura de dados com alto desempenho que se tornou uma arquitetura aberta para a partilha de dados 3D. Este formato suporta fluxos de trabalho não destrutivos e permite a composição de cenas em tempo real, sendo fundamental para o desenvolvimento e suporte de gémeos digitais [4][5].
Neste contexto, a convergência do BIM com a computação visual gera novas oportunidades e desafios de interoperabilidade de dados. Um desafio-chave é o IFC5, a próxima revisão do esquema IFC, que adota a modularização, a normalização e a associação tardia. [6], inspirados no USD da Pixar [7]. Embora partilhem aspirações, o USD e o IFC diferem: o USD foca-se num fluxo de trabalho não destrutivo e em tempo real, enquanto o IFC prioriza o rigor semântico dos dados de construção. Tal facto origina diferenças no tratamento da geometria. O USD, ao contrário do IFC4 e versões anteriores, possui suporte nativo limitado para geometrias comuns em arquitetura e construção, como elementos procedimentais.
A inspiração do IFC5 na arquitetura USD pode comprometer a fidelidade geométrica e a intenção de modelação na transição a partir do IFC4. Mapear a geometria IFC para USD é crucial para identificar perdas de dados e desenvolver estratégias de enriquecimento, garantindo a integridade BIM em futuros fluxos de trabalho IFC. Este estudo avalia a conversão de geometrias IFC para estruturas USD nativas. A análise utiliza critérios estruturados (topologia, vazios, superfícies, operações booleanas, suaves e tesseladas) em projetos arquitetónicos e estruturais. Os resultados indicam que estratégias híbridas, que simplificam a geometria e a enriquecem com metadados estruturados, são promissoras para conciliar os pontos fortes de ambos os padrões.

2 Características geométricas do IFC

As características semânticas na Tabela 1 definem a geometria BIM. Topologia, vãos, parametrização, operações booleanas e representações compactas são cruciais para relações estruturais, validação, edição e eficiência de dados. O suporte a superfícies suaves e tesselação oferece flexibilidade entre projeto de alta fidelidade e visualização em tempo real. Estas capacidades garantem geometrias BIM rigorosas, otimizadas para colaboração, automação e aplicações subsequentes (simulação de construção, custos, gestão de ativos). A codificação aberta e padronizada destes recursos pelo IFC permite a interpretação consistente do modelo em distintas plataformas e etapas do ciclo de vida de um projeto.

Tabela 1: Características Semânticas das Geometrias BIM.

Categorias Semânticas Suportadas	**Descrição**
Topologia e B-Rep	O IFC suporta a Representação de Limites (Boundary Representation), definindo explicitamente faces, arestas e vértices. Este método é essencial para inferir relações espaciais e detetar colisões. A tesselação (malhas poligonais) é tratada aqui como uma simplificação desta topologia para fins de visualização [8].
Operações Booleanas e Vazios	O IFC utiliza a Geometria Sólida Construtiva (CSG) para criar formas complexas através de união, intersecção e diferença. Os vazios (como vãos de portas e janelas via IfcOpeningElement) são resultados diretos de subtrações booleanas. O processamento de seccionamentos aninhados (múltiplas operações encadeadas) pode gerar inconsistências em sistemas de visualização [9].
Superfícies e Formas de Revolução	Proporciona um mecanismo de extensão para a modelação de superfícies realistas, abrangendo curvas e formas de revolução. Isso inclui suporte a operações de varredura (por exemplo, IfcSweptAreaSolid) e de revolução, as quais podem envolver tanto curvas (IfcCurve) quanto superfícies (IfcSurface). Embora o IFC possua entidades para superfícies não facetadas (e.g., IfcBSplineSurface), o suporte em aplicação é limitado [10].
Parametrização e Modelação Procedural	Suporta a definição de formas através de regras e modificadores (perfis e vetores de extrusão), como em IfcExtrudedAreaSolid. Esta abordagem permite uma representação extremamente compacta de objetos como paredes e vigas [11].
Compactação	A eficácia do IFC reside na forma como a sua geometria paramétrica é compactada. Em vez de utilizar malhas complexas, os objetos (como paredes) são definidos por um vetor de extrusão e uma curva de perfil, o que o torna ideal para a modelação compacta [11].
Tesselação	Apesar da riqueza paramétrica das geometrias IFC, elas podem ser convertidas em malhas poligonais (triângulos) para fins de renderização e simulação. Para essa representação baseada em malha, os ficheiros IFC podem incluir explicitamente as estruturas IfcTriangulatedFaceSet ou IfcPolygonalFaceSet [10].

A Figura 1 detalha visualmente as categorias listadas na Tabela 1, ilustrando a transição entre o rigor técnico das geometrias B-Rep e a eficiência dos sólidos procedimentais. É importante notar que termos como 'Sólidos do semi-espaço' e 'Sólidos Seccionados' referem-se a métodos de corte e definição de volume que utilizam a lógica booleana para refinar a geometria final do componente. Esta taxonomia é o ponto de partida para entender o que é sacrificado durante a conversão para o formato USD.

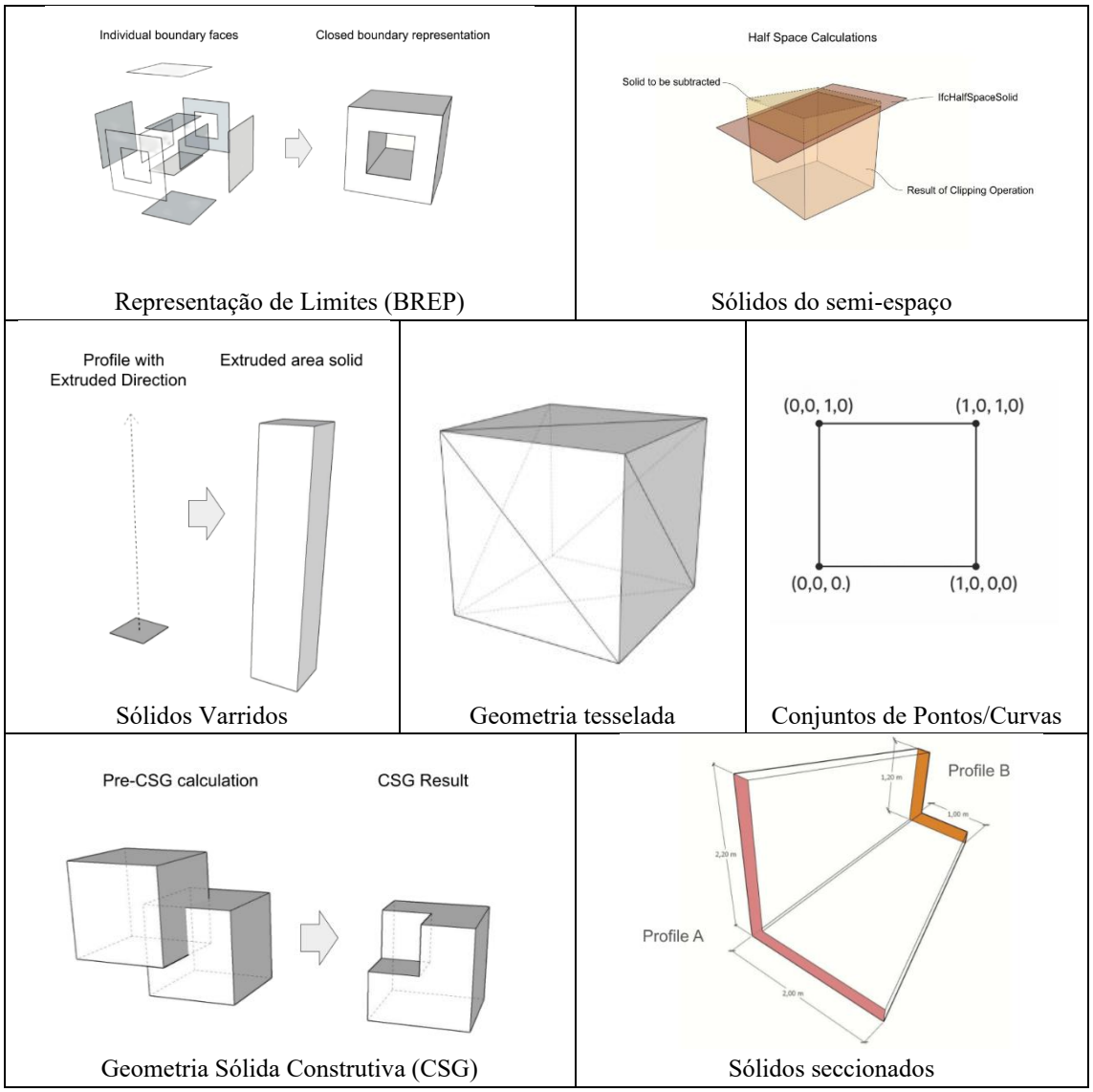


Figura 1 – A classificação da geometria IFC abrange e detalha os vários tipos de representação geométrica definidos no esquema. Inclui uma descrição dos métodos utilizados para a sua definição, que vão desde a modelação sólida e tesselação até ao seccionamento.

Na prática, nem todas as geometrias apresentadas na Figura 1 são aplicadas de forma uniforme nos fluxos de trabalho baseados em IFC. A seleção de subconjuntos de entidades e representações é controlada no *Model View Definitions* (MVDs). A Vista de Referência, por exemplo, que é utilizada para coordenação, impõe uma restrição que limita a geometria a formatos fixos, como IfcFacetedBrep ou IfcExtrudedAreaSolid. Esta restrição exclui, portanto, definições mais complexas, como árvores booleanas ou sólidos varridos. Tais limitações, embora beneficiem a interoperabilidade, resultam na redução da expressividade dos dados [12].

3 Características geométricas do USD

O esquema UsdGeom estabelece a estrutura geométrica do USD através de tipos primitivos e não primitivos. Os tipos primitivos são formas analíticas definidas por atributos mínimos, como raio, largura e altura. Os tipos não primitivos permitem a representação de formas arbitrárias e complexas como superfícies poligonais detalhadas e representações de elementos lineares baseados em curvas. Esta modularidade é essencial para o USD gerir eficientemente grandes volumes de dados [13]. A Tabela 2 sistematiza estes esquemas, relacionando a natureza da geometria (primitiva ou não) com a sua função.

Tabela 2: Classificação da Geometria do USD. A tabela detalha se o esquema é primitivo ou não primitivo, descrevendo a sua aplicação na composição 3D [14-23].

Tipos de Geometria USD	**É primitiva?**	**Descrição**
UsdGeomMesh	Não	Polígonos com índices de vértices e faces.
UsdGeomPoints	Não	Coleção de pontos desconectados.
UsdGeomBasisCurves	Não	Conjunto de curvas usando splines de base.
UsdGeomNurbsCurves	Não	Define curvas NURBS (B-Spline Racional Não-Uniforme).
UsdGeomNurbsPatch	Não	Conjunto de superfícies NURBS paramétrico.
UsdGeomCube	Sim	Cubo paramétrico.
UsdGeomSphere	Sim	Define uma esfera através do raio.
UsdGeomCylinder	Sim	Cilindro paramétrico com altura e raio.
UsdGeomCone	Sim	Geometria de cone.
UsdGeomCapsule	Sim	Forma de cápsula.

4. Avaliação das Representações Geométricas

A avaliação das representações geométricas foi conduzida através de uma abordagem experimental e analítica dividida em três etapas, conforme ilustrado na Figura 2. O Passo 1 consistiu num levantamento dos requisitos técnicos de geometria definidos nos MVDs. O Passo 2 focou-se na correlação técnica entre os esquemas, analisando como as entidades do IFC se comportam ao serem traduzidas para o USD. Finalmente, o Passo 3 validou estas premissas através da conversão prática de modelos reais (projeto arquitetónico Nexus e projeto estrutural Torre de Transmissão), utilizando scripts Python customizados (bibliotecas ifcopenshell e usd-core) para medir disparidades de tamanho e fidelidade semântica.

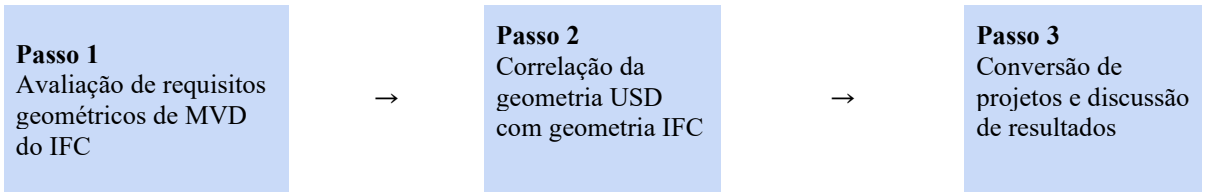


Figura 2 – Etapas para avaliação da geometria do IFC em comparação ao USD

4.1 Avaliação de requisitos geométricos de MVD do IFC

A Tabela 3 estabelece a ligação entre os requisitos de geometria dos MVDs primários da buildingSMART e as versões do IFC, evidenciando que a representação geométrica é determinada pela sua finalidade.

No IFC2x3, por exemplo, modelos analíticos empregam pontos e curvas, enquanto aplicações como coordenação e Manutenção (FM) requerem representação volumétrica (BREP, Sólidos Varridos, CSG). A partir do IFC4, a coordenação é otimizada com a geometria tesselada na Vista de Referência. Contudo, domínios especializados como pré-fabricados ou infraestrutura (IFC4.3) mantêm o uso de Sólidos Varridos e BREP, procurando garantir a fidelidade da representação para fins de execução. Muitos dos requisitos apresentados na tabela são deduzidos da documentação padrão, preenchendo as lacunas existentes nas normas.

Tabela 3: Mapeamento dos Requisitos de Geometria em MVDs Oficiais da buildingSMART. Os requisitos marcados com asterisco (*) foram inferidos através da análise detalhada da documentação técnica padrão, preenchendo lacunas onde as recomendações não eram explícitas.

Versão IFC	**MVD**	**Requisito de Geometria**
IFC2x3 TC1	Vista de Análise Estrutural	Conjuntos de Pontos/Curvas (*)
	Vista básica da transferência de FM	B-Rep e Sólidos Varridos (*)
	Vista de Coordenação	Representação de Limites (BREP) Sólidos Varridos Geometria Sólida Construtiva (CSG)
	Visualização do complemento de fronteira espacial	B-Rep (*)
IFC4 ADD2 TC1	Vista de referência	Geometria tesselada & Sólidos Varridos
	IFC4 Pré-moldado	Representação de Limites (BREP) Sólidos Varridos
IFC4.3 ADD2	Vista de referência	Representação de Limites (BREP) Sólidos Varridos & Geometria tesselada

4.2 Correlação da geometria USD com geometria IFC

A conversão de dados IFC para USD revela uma incompatibilidade fundamental na abordagem da representação geométrica. O IFC prioriza o rigor semântico e a compacidade dos dados através de representações paramétricas leves, enquanto o USD é otimizado para a eficiência de renderização e fluxos de trabalho colaborativos não destrutivos.

O USD utiliza primitivas geométricas nativas (esfera, cubo, etc.) e malhas. Embora as primitivas possam ser definidas analiticamente para leveza e independência de resolução, o USD, ao contrário do IFC (que usa definições procedurais baseadas em parâmetros), converte essa geometria procedural em malhas explícitas (vértices e faces).

Essa conversão resulta na principal limitação do USD para aplicações BIM: a perda da identidade semântica e paramétrica. O USD armazena a geometria na sua forma pura, o que não só dificulta edições paramétricas, mas também pode aumentar o tamanho do ficheiro, uma vez que utiliza malhas densas em vez das definições matemáticas compactas do IFC. Uma característica distinta do USD em comparação com o IFC é o seu motor de composição, que permite transformações isoladas de elementos na hierarquia. O motor de composição é o sistema central do USD que agrega múltiplas camadas de dados de forma não-destrutiva, permitindo que diversos ficheiros contribuam para a cena final sem modificar os ativos originais. Este mecanismo funciona através de uma hierarquia de "opiniões", onde o motor resolve conflitos entre camadas (como o conceito chamado ‘Over’) para calcular o estado final de cada objeto em tempo real. Ao contrário de formatos estáticos, esta tecnologia possibilita que transformações e variantes sejam sobrepostas de forma isolada, garantindo uma colaboração fluida e uma gestão eficiente de cenas 3D complexas.

A Figura 3 ilustra como a translação pode mover um objeto dentro de um grupo USD sem alterar a geometria original ou afetar outros elementos, esta flexibilidade é designada por Over no conceito USD.

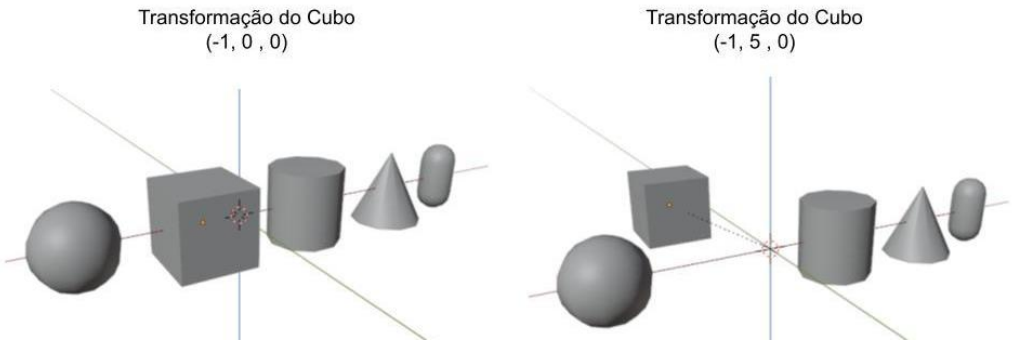


Figura 3 – Transformação de translação USD de uma única primitiva. Mostra como diferentes translações movem apenas o cubo dentro de um grupo. A imagem da esquerda translada o cubo em X (–1, 0, 0); a direita aplica translação em X e Y (–1, 5, 0), isolando a transformação do elemento.

A análise da Figura 4 demonstra que a exportação de modelos BIM para o formato USD resulta frequentemente na perda da inteligência paramétrica original. Enquanto na aplicação de autoria os objetos são definidos por regras dinâmicas e valores editáveis, a conversão para USD transforma-os em malhas poligonais estáticas (tesselação), um processo conhecido como "achatamento" da geometria. Esta transição sacrifica a flexibilidade do objeto em prol do

desempenho visual, convertendo componentes de construção inteligentes em representações gráficas fixas que impossibilitam ajustes paramétricos diretos no ambiente federado.

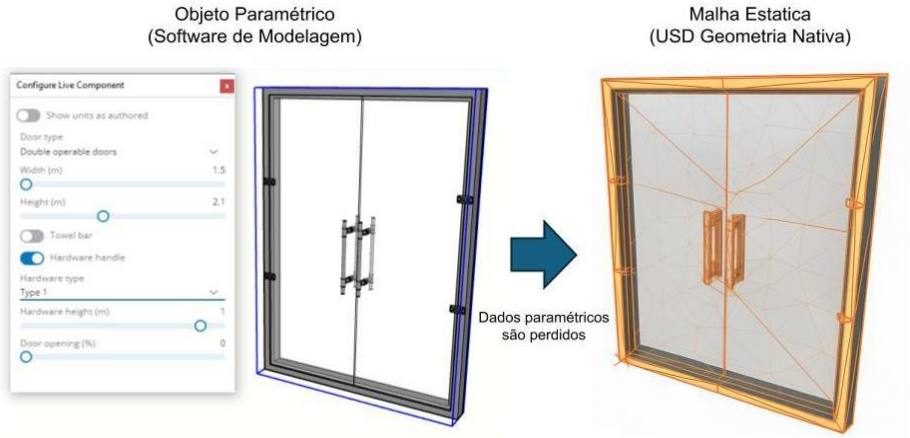


Figura 4 – Comportamento de aplicação de modelação na exportação para USD em que toda a parametrização do objeto é convertida numa malha sem inteligência semântica.

4.3 Conversão de projetos e discussão de resultados

A avaliação utiliza dois projetos distintos, o projeto arquitetónico Nexus e o projeto estrutural Torre de Transmissão. Estes projetos foram convertidos de IFC para USD usando scripts Python que integram as bibliotecas ifcopenshell e usd-core. Através desta análise, identificou-se a eficácia da tesselação como um ponto crítico. A Figura 5 demonstra que USD e IFC produzem resultados visuais idênticos ao converter geometrias complexas em malhas tesseladas. Contudo, o formato binário USDC é mais eficiente em tamanho de ficheiro que o formato baseado em texto (ASCII). Com a transição para o IFC5, a hierarquia de dados assemelha-se mais aos "prims" do USD. Nela, geometrias de elementos IFC (como IfcWall/Body) são traduzidas como malhas na hierarquia USD, enquanto metadados semânticos (GlobalId, Nome) devem ter uma estratégia de armazenamento de dados recorrendo a atributos personalizados para cada primitivo (elemento mais básico do USD).

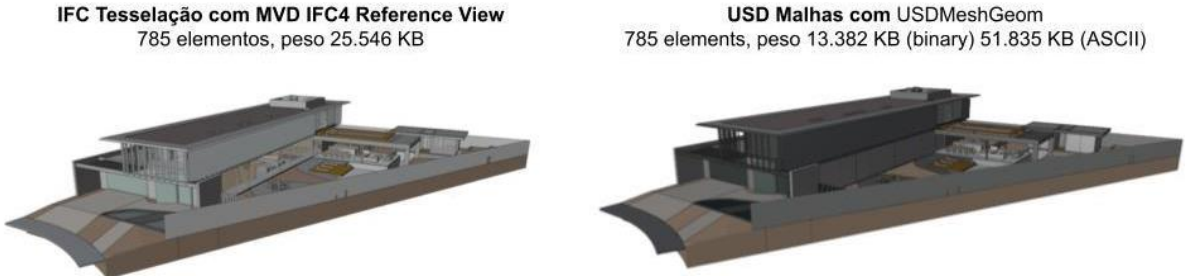


Figura 5 – Resultados da tesselação entre IFC e USD.

A discrepância mais acentuada ocorre na comparação entre a geometria procedural e a representação por malhas em modelos estruturais. Conforme detalhado na Figura 6, um modelo com 34.194 elementos em formato IFC, utilizando definições procedurais, ocupa apenas 19.861 KB. A conversão para USD, que utiliza apenas malhas estáticas (UsdGeomMesh), resulta num processo de "achatamento" da geometria. Isto provoca um aumento exponencial no tamanho do ficheiro: 162.010 KB em formato binário e 2.280.934 KB em formato ASCII.

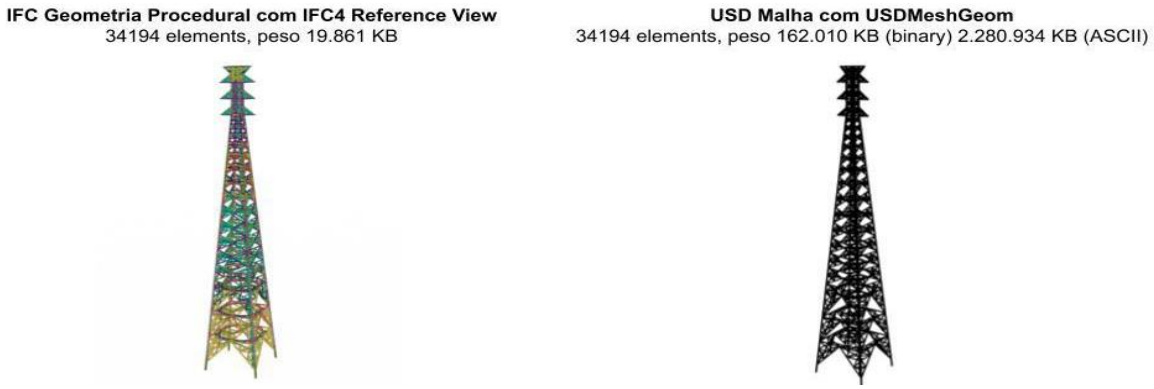


Figura 6 – Resultados para geometria procedural em IFC e geometria de malha em USD.

5 Conclusão

Este estudo fundamenta a necessidade de uma convergência estratégica entre o rigor semântico do IFC e o desempenho visual do USD para o desenvolvimento do futuro IFC5. A análise dos casos de estudo confirmou que, embora o USD ofereça um desempenho superior para visualização e colaboração em tempo real, a conversão atual resulta em uma perda significativa de lógica procedural, restringindo o USD a funções meramente consultivas ou visuais. Para que o IFC5 supere estas limitações, recomendam-se três frentes de desenvolvimento prioritárias, a saber: 1) Desacoplamento entre semântica e representação geométrica para permitir que o esquema suporte múltiplas representações para o mesmo objeto (ex: uma malha leve para visualização e um modelo analítico para engenharia). 2) Hibridização de dados ao implementar a capacidade de armazenar parâmetros de construção e metadados personalizados diretamente nos esquemas do USD (custom attributes), preservando a inteligência do modelo durante a exportação. 3) Padronização de APIs em colaboração com a AOUSD integrando o suporte nativo a operações de Geometria Sólida Construtiva (CSG) e sólidos varridos no ecossistema USD, evitando a necessidade de tesselação destrutiva. Em suma, o desafio para o IFC5 utilizar a base de geometria do USD reside em adotar a arquitetura modular e eficiente do USD sem sacrificar o rigor técnico que define os padrões BIM. A implementação destas recomendações pode garantir que a interoperabilidade entre estes esquemas não seja apenas visual, mas funcionalmente inteligente para todas as fases do ciclo de vida do projeto.

Referências

[1] Sacks, R., Lee, G., Burdi, L. & Bolpagni, M., 2025. BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Designers, Engineers, Contractors, and Facility Managers. 4th ed. Hoboken, NJ: Wiley.

[2] ISO 16739-1:2024. Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing in the construction and facility management industries – Part 1: Data schema. International Organization for Standardization.

[3] Zhang, C., Beetz, J. and Weise, M., 2015. Interoperable validation for IFC building models using open standards. Journal of Information Technology in Construction, 20 (ECPPM-2014), pp.24-39.

[4] Allam, A.S. & Nik-Bakht, M., 2025. Integrating IFC and knowledge graphs for automated deconstruction planning. Journal of Building Engineering, 78, 112564.
[5] Day, M. (2023). USD and the AEC industry. AEC Magazine. Retrieved May 19, 2025, from https://aecmag.com/features/usd-and-the-aec-industry/.
[6] Berlo, L. van, Krijnen, T., Tauscher, H., Liebich, T., van Kranenburg, A. & Paasiala, P. (2021). Future of the Industry Foundation Classes: towards IFC 5. Proceedings of the 38th International Conference of CIB W78, 11–15 October 2021, Luxembourg. Available at: https://www.buildingsmart.org/wp-content/uploads/2021/06/IFC_5.pdf. [Accessed 19 May 2025]
[7] Canvas. (n.d.). Statement about relation between USD and IFC 5. Retrieved from https://canvas.instructure.com/courses/10596230/pages/statement-about-relation-between-usd-and-ifc-5 (Accessed: 22 June 2025).
[8] Bolpagni, M., Beheshti, M., & Ghosh, A. (2022). Processing of Topological BIM Queries Using Boundary Representation Based Methods.
[9] Boeykens, J., et al. (2020). Automatically Processing IFC Clipping Representation for BIM and GIS Integration at the Process Level.
[10] Wang, X., et al. (2022). Integration of BIM and GIS: Geometry from IFC to Shapefile using OpenSource Technology.
[11] Eastman, C., Yoon, J., & Haymaker, C. (2009). IFC and building lifecycle management.
[12] buildingSMART International, IFC4 Reference View – MVD, 2016. Available at: https://standards.buildingsmart.org/MVD/RELEASE/IFC4/ADD2_TC1/RV1_2/HTML/schema/views/reference-view/index.htm
[13] OpenUSD (2021) Geometry Schema for USD. Universal Scene Description. Available at: https://openusd.org/docs/api/class_usd_geom_gprim.html (Accessed: 22 June 2025).
[14] OpenUSD (2021) UsdGeomMesh Class. Universal Scene Description (USD). Available at: https://openusd.org/docs/api/class_usd_geom_mesh.html (Accessed: 22 June 2025).
[15]OpenUSD (2021) UsdGeomPoints. Universal Scene Description (USD). Available at: https://openusd.org/docs/api/class_usd_geom_points.html (Accessed: 22 June 2025).
[16] OpenUSD (2021) UsdGeomBasisCurves. Universal Scene Description (USD). Available at: https://openusd.org/docs/api/curves_8h.html (Accessed: 22 June 2025).
[17] OpenUSD (2021) UsdGeomNurbsCurves. Universal Scene Description (USD). Available at: https://openusd.org/docs/api/nurbs_curves_8h.html(Accessed: 22 June 2025).
[18] OpenUSD (2021) UsdGeomNurbsPatch. Universal Scene Description (USD). Available at: https://openusd.org/docs/api/nurbs_patch_8h.html (Accessed: 22 June 2025).
[19] OpenUSD (2021) UsdGeomCube. Universal Scene Description (USD). Available at: https://openusd.org/docs/api/cube_8h.html (Accessed: 22 June 2025).
[20] OpenUSD (2021) UsdGeomSphere. Universal Scene Description (USD). Available at: https://openusd.org/docs/api/sphere_8h.html (Accessed: 22 June 2025).
[21] OpenUSD (2021) UsdGeomCylinder. Universal Scene Description (USD). Available at: https://openusd.org/docs/api/cylinder_8h.html (Accessed: 22 June 2025).
[22] OpenUSD (2021) UsdGeomCone. Universal Scene Description (USD). Available at: https://openusd.org/docs/api/cone_8h.html (Accessed: 22 June 2025).
[23] OpenUSD (2021) UsdGeomCapsule. Universal Scene Description (USD). Available at: https://openusd.org/docs/api/capsule_8h.html(Accessed: 22 June 2025).

12345

INTEROPERABILIDADE EM MODELOS DE ANÁLISE ESTRUTURAL: ESTUDO DAS CONEXÕES ENTRE ELEMENTOS ANALÍTICOS

Isabele Castellano, José Carlos Ribeiro, Kléos César Junior, Márcio Henrique Charles, José Maria de Carvalho, Diôgo de Oliveira

ptBIM

INTEROPERABILIDADE EM MODELOS DE ANÁLISE ESTRUTURAL: ESTUDO DAS CONEXÕES ENTRE ELEMENTOS ANALÍTICOS

Isabele Castellano [(1)], José Carlos Ribeiro [(2)], Kléos César Junior [(3)], Márcio Henrique Charles [(4)], José Maria de Carvalho [(5)], Diôgo de Oliveira [(6)]

(1) Universidade Federal de Viçosa, Brasil, Viçosa, 0009-0004-8667-8310
(2) Universidade Federal de Viçosa, Brasil, Viçosa, 0000-0003-4069-7001
(3) Universidade Federal de Viçosa, Brasil, Viçosa, 0000-0003-4779-4226
(4) Universidade Federal de Viçosa, Brasil, Viçosa, 0009-0006-3425-4668
(5) Universidade Federal de Viçosa, Brasil, Viçosa, 0000-0001-5785-3213
(6) Universidade Federal de Viçosa, Brasil, Viçosa, 0000-0002-4771-8971

Resumo
O *Building Information Modeling* (BIM) permite atualização contínua dos modelos de análise estrutural, assegurando consistência entre os modelos físico e analítico. Na versão 4.3 do *Industry Foundation Classes* (IFC), a representação da análise estrutural é organizada em dois domínios principais: o *IfcStructuralElementsDomain*, que define os elementos físicos, e o *IfcStructuralAnalysisDomain*, destinado à representação do modelo analítico, que define as entidades que descrevem a conectividade entre membros e suas condições de ligação, como *IfcStructuralConnection* e suas subclasses. Este artigo tem como objetivo mapear e avaliar as entidades IFC relacionadas às conexões estruturais, investigando a comunicação do modelo analítico e sua aplicação na representação de ligações entre elementos. Este estudo inclui uma revisão bibliográfica e uma análise crítica da documentação oficial do IFC 4.3, abrangendo também o estudo da estrutura de dados contida em arquivos STEP. Diagramas e tabelas foram elaborados para facilitar a compreensão da estrutura do esquema. Conclui-se que a identificação das entidades e dos requisitos de informação realizada neste trabalho contribuem para o avanço da interoperabilidade entre ferramentas BIM, fortalecendo a precisão e a integração dos modelos físico e analítico.

1. Introdução

O BIM permite que engenheiros de estruturas atualizem continuamente modelos dos elementos físicos e de análise correspondentes para refletir mudanças no projeto. Isso resulta em maior produtividade e contribuições significativas na elaboração do projeto conceitual, análise, dimensionamento e detalhamento, além de minimizar erros e custos associados [1]. Sampaio e Gomes [2] estudaram a comunicação de dados entre diferentes softwares de análise e de modelagem BIM. Os processos de transferência são realizados de duas maneiras: usando os

formatos de dados nativos e o formato padrão neutro IFC. Foram detectados problemas de interoperabilidade através de IFC entre os softwares.
De acordo com a ISO 16739-1:2024, *Model Definition View* (MVD) é um subconjunto do esquema, podendo ser definido para um ou mais fluxos de trabalho, formando a base sobre a qual é lançada a certificação de software IFC [3]. Entretanto, o último MVD lançado pela *buildingSMART* (bSI) para a análise estrutural foi o *Structural Analysis View* do IFC 2x3 [4]. Ao longo dos anos, ocorreram alterações relacionadas ao modelo estrutural no IFC. Entidades, relacionamentos e propriedades foram modificados, criados e depreciados nas versões posteriores. Na estrutura do IFC 4.3, existem dois domínios de interesse para a análise estrutural: *IfcStructuralAnalysisDomain* (representação do modelo estrutural analítico) e o *IfcStructuralElementsDomain* (modelo físico). Ambos possuem entidades capazes de representar elementos do projeto estrutural [5]. Porém, nenhum dos softwares comerciais utilizados nesta pesquisa é capaz de exportar o modelo analítico na versão 4.3, em virtude da ausência de MVDs específicos para essa versão [6].
Este artigo tem como objetivo mapear e avaliar as entidades IFC relacionadas às conexões estruturais, investigando a comunicação do modelo analítico e sua aplicação na representação de ligações entre elementos. Este estudo inclui uma revisão bibliográfica e análise crítica da documentação oficial do IFC 4.3, abrangendo também o estudo da estrutura de dados STEP. Diagramas e tabelas foram elaborados para facilitar a compreensão da estrutura do esquema. Foram realizados estudos da forma de representação de instâncias IFC em arquivos STEP, compondo exemplos que foram testados em sua sintaxe e visualização geométrica. Foram confeccionados exemplos referentes aos diferentes tipos de conexões analíticas. Os arquivos foram avaliados em diferentes visualizadores IFC.

2. Revisão de literatura

Utilizou-se o *Scopus*, um banco de dados e métricas *online*, capaz de processar diversas análises para realizar uma revisão bibliométrica [7], cuja metodologia é ilustrada na Figura 1.

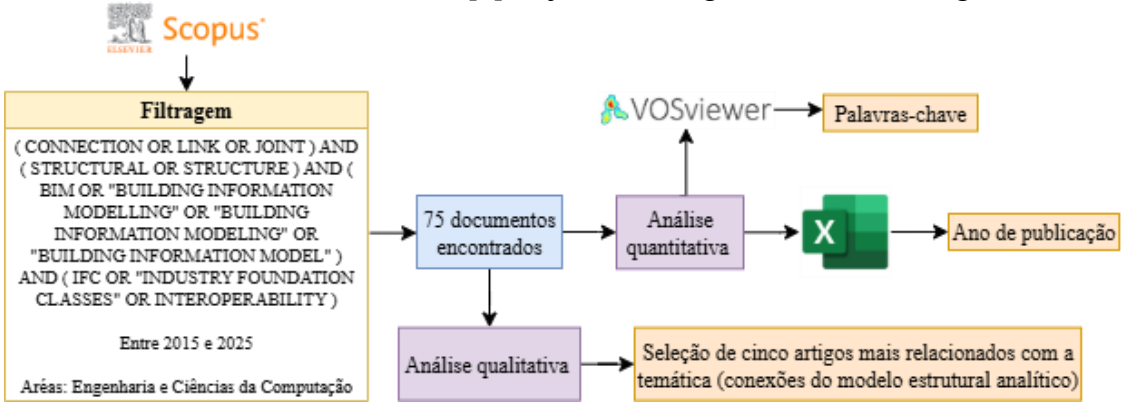


Figura 1: Fluxo da revisão bibliométrica. Fonte: Os Autores (2026).

Através do *VOSViewer* foi realizada a análise da correlação entre as palavras-chave (Figura 3). O Microsoft Excel foi utilizado para criar os gráficos relativos aos anos de publicação. Na Figura 2, apresenta-se uma linha de tendência crescente em relação ao número de pesquisas, com os anos de 2019 e 2025 apresentando maior incidência. Entre as palavras-chave, destacam-

se grandes áreas: "*Architectural design*", '*Building Information Modeling*" e "*Industry Foundation Classes*". Mas também palavras-chaves relacionadas à análise estrutural, como "*Structural Analysis*", "*Structure Design*" e "*Finite Element Method*".

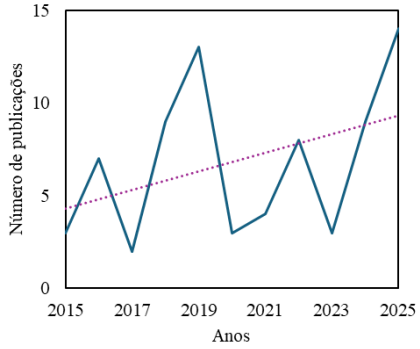


Figura 2: Número de publicações ao longo dos anos. Fonte: Os Autores (2026).

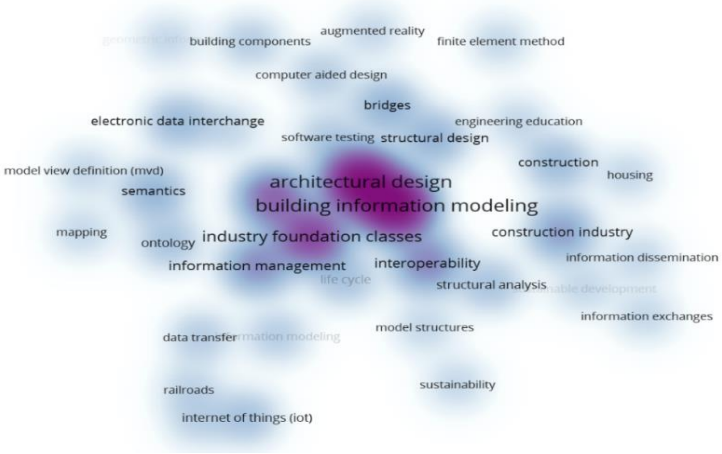


Figura 3: Densidade de palavras-chave. Fonte: Os Autores (2026).

Na Tabela 1 são apresentados os principais estudos que avaliaram a interoperabilidade via IFC do modelo de análise estrutural, em virtude da ausência de MVD específico para versão 4.3. Os estudos foram realizados nas versões 2x3 e 4. Destaca-se que o único MVD oficial que contém as entidades do domínio de análise estrutural é o Structural Analysis View na versão 2x3. Na versão 4, este mesmo MVD não é considerado oficial pela *buildingSMART* [4]. Em todos os estudos citados na tabela, relatou-se problemas de interoperabilidade. Assim, neste artigo, optou-se pela análise direta da documentação do padrão IFC, por se tratar de uma abordagem mais robusta e independente de implementações específicas.

Tabela 1: Principais estudos sobre a interoperabilidade entre softwares comerciais para análise estrutural.

Fonte	Versão IFC	MVD	Softwares
[8]	IFC 2x3 IFC4	Structural Analysis View (SAV), Architectural Coordination View	SAP2000, ETABS, ROBOT, STAAD Pro, RFEM
[2]	Não informado	Não informado	SAP2000, ETABS, ROBOT
[9]	IFC 2x3 IFC 4	Coordination View 2.0 (CV 2.0), SAV Reference View, Design Transfer View, SAV	RSA, Tekla Structures, ModeSt, RFEM, SAP2000, Edilus
[10]	IFC 2x3	CV 2.0	ETABS, Robot Structural Analysis, SAP2000, Tekla Structure
[11]	IFC 2x3 IFC 4	CV 2.0 Reference View	Robot Structural Analysis, PRO_SAP, JASP

Fonte: Os Autores (2026).

3. Metodologia

Este estudo se alinha ao paradigma *Design Science Research* (DSR), metodologia de pesquisa definida por Pirainen, e Gonzalez [12] e utilizada por Antunes, *et al*. [5], com uma abordagem metodológica voltada ao desenvolvimento de soluções inovadoras para problemas reais por meio da criação e avaliação de artefatos. Além disso, o método utilizado neste estudo segue aquela realizada por Castellano *et al*. [6].

Inicialmente, foram definidos os Requisitos de Informação (RI) necessários para a representação das conexões dos elementos analíticos através da revisão de literatura. Em seguida, foi realizada a identificação e o mapeamento das entidades IFC 4.3 correspondentes aos RI levantados. Essa etapa visou estabelecer quais entidades e propriedades do IFC 4.3 poderão ser utilizadas para representá-las adequadamente. Foram elaborados fluxogramas e tabelas que facilitem a compreensão da estrutura do IFC aplicada à representação de modelos de análise estrutural para auxiliar na interpretação das relações entre entidades, servindo como guia para o uso correto. Realizou-se um estudo da forma de representação das instâncias em arquivos STEP. Buscou-se compreender como os dados são armazenados, as relações entre objetos são estabelecidas e quais restrições podem existir na codificação de elementos e resultados.

A verificação dos arquivos foi feita por meio da ferramenta *Validation,* desenvolvida pela *buildingSMART,* que verifica se arquivos IFC estão em conformidade com o padrão [13]. Assim, os arquivos no formato .ifc foram importados para o BIMPLUS, um *Common Data Environment* (CDE), possibilitando a colaboração em projetos de construção [14]. A metodologia deste estudo está ilustrada na Figura 4.

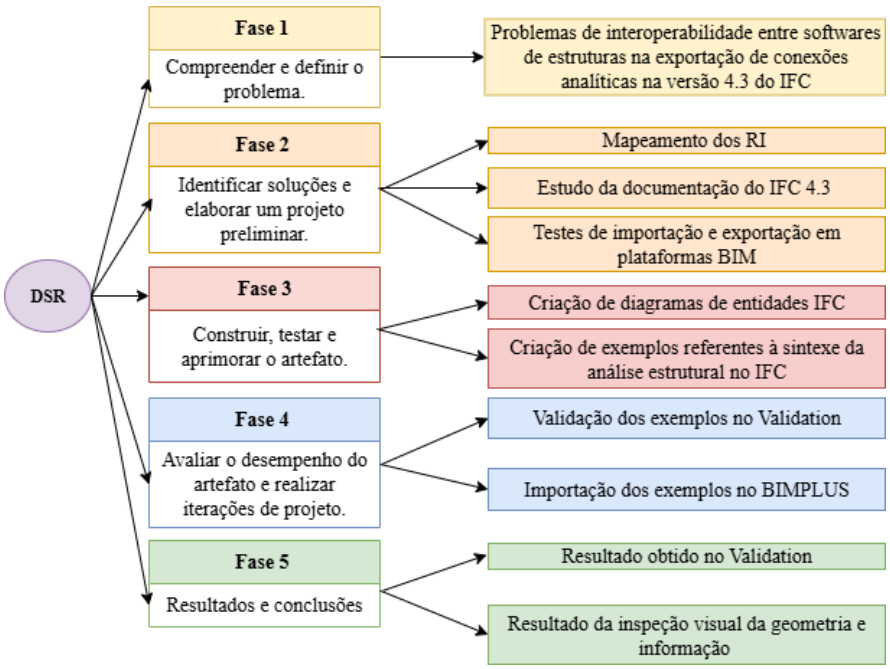


Figura 4: Metodologia empregada neste trabalho. Fonte: Os Autores (2026).

4. Desenvolvimento

Devido à sua complexidade e ao grande número de entidades relacionadas ao modelo analítico no IFC 4.3, este estudo se restringe à *IfcStructuralConnection*. Na Figura 5, apresenta-se uma visão geral das principais entidades relacionadas, em que elementos preenchidos representam classes abstratas, setas duplas indicam relacionamentos e setas simples representam atributos. A entidade abstrata *IfcStructuralItem* possui a base conceitual para a definição dos membros (*IfcStructuralMember*) e conexões estruturais (*IfcStructuralConnection*), representando suas idealizações analíticas, estabelecendo o vínculo desses componentes com as ações e reações. *IfcStructuralCurveMember* é a subclasse que descreve membros lineares, tais como vigas e pilares. *IfcStructuralItem* utiliza *IfcTopologyRepresentation* para descrever a topologia dos elementos e das conexões, representadas por pontos, curvas ou superfícies [16]. *IfcStructuralSurfaceMember* é a classe que representa membros tipicamente de superfície, como lajes e paredes [17]. *IfcStructuralConnection* representa um objeto de conexão ou apoios (condições de contorno). *IfcBoundaryCondition* é utilizada nas instâncias de *IfcStructuralConnection* para a definição de apoios, e de *IfcRelConnectsStructuralMember,* para a definição de conexões e as suas relações com os elementos envolvidos [18]. Apresenta-se essas informações na Tabela 2.

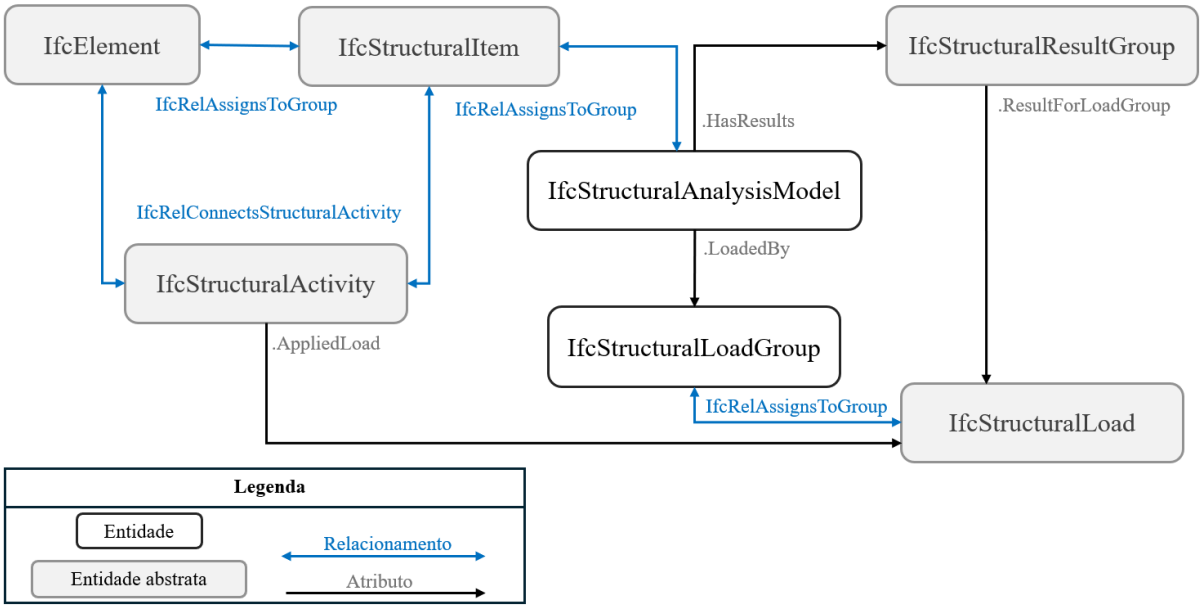


Figura 5: Visão geral do modelo de análise estrutural. Fonte: Adaptada de [15].

Tabela 2: Conexões analíticas na documentação do IFC 4.3.

Análise Estrutural	**Representação**	**Topologia**	**Comportamento mecânico**	**Condição de contorno**
Nó estrutural ou apoio pontual	*IfcStructuralPoint Connection*	*IfcVertexPoint*	*IfcBoundaryNode Condition*	*IfcTranslationalStiffnessSelect IfcRotationalStiffnessSelect*

Apoio ao longo de uma borda	*IfcStructuralCurveConnection*	*IfcOrientedEdge, IfcEdgeCurve ou IfcEdge.*	*IfcBoundaryEdgeCondition*	*IfcModulusOfTranslationalSubgradeReactionSelect IfcModulusOfRotationalSubgradeReactionSelect*
Contato entre superfícies	*IfcStructuralSurfaceConnection*	*IfcFaceSurface*	*IfcBoundaryFaceCondition*	*IfcModulusOfSubgradeReactionSelect*

Fonte: Os Autores (2026).

Diagramas foram confeccionados de acordo com a documentação do IFC 4.3 [19]. Entidades abstratas possuem preenchimento diferenciado, tipos são indicados por contorno tracejado, e atributos obrigatórios são destacados tipograficamente. Na Figura 6, apresenta-se o diagrama de *IfcStructuralItem*, subclasse de *IfcProduct*.

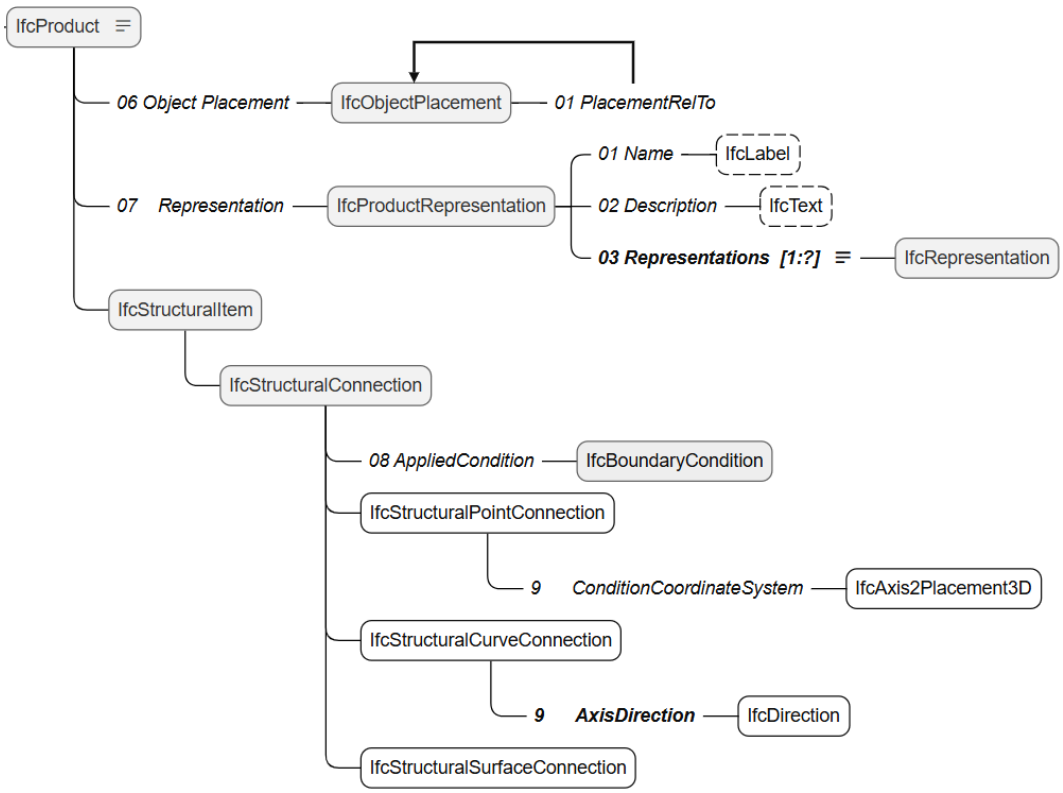


Figura 6: Diagrama de entidades do IfcStructuralConnection. Fonte: Os Autores (2026).

5. Resultados

Foram elaborados exemplos para os principais tipos de conexões do modelo analítico: pontual e linear. Estes foram validados sintaticamente no *Validation* [13]. Após a validação, o BIMPLUS foi utilizado como visualizador da geometria e informação dos modelos (Figura 7).

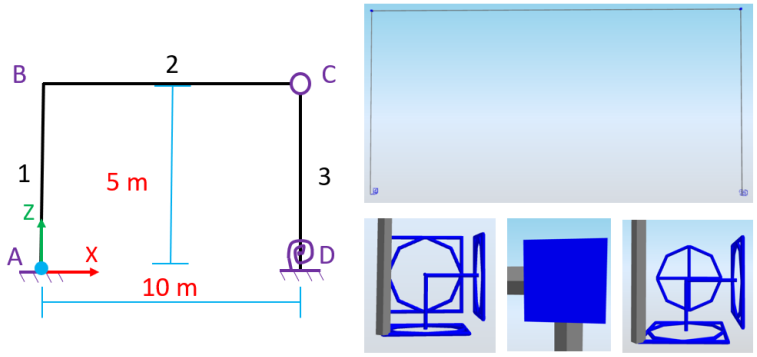


Figura 7: Pórtico com conexão de engaste (A), rótula (C) e mola rotacional (D).

No primeiro exemplo (Figura 8), a rótula foi representada por uma conexão pontual. O relacionamento *IfcRelConnectsStructuralMember* foi utilizado para conectar as barras 2 e 3 com a conexão pontual C. Neles também foram impostas as condições de contorno através de *IfcBondaryNodeCondition*.

```
Conexão pontual C que conecta a barra 2 com a barra 3:
#276= IFCCARTESIANPOINT((10.,0.,5.));
#277= IFCVERTEXPOINT(#276);
#278= IFCTOPOLOGYREPRESENTATION(#212,'Reference','Vertex',(#277));
#279= IFCPRODUCTDEFINITIONSHAPE($,$,(#278));
#280= IFCSTRUCTURALPOINTCONNECTION('0IHrRf6abAZwDys7n7fbS2',#209,'Point Connection
#4',$,$,$,#279,$,$);
#281= IFCBOUNDARYNODECONDITION('Joint',IFCBOOLEAN(.T.),IFCBOOLEAN(.T.),IFCBOOLEAN(.T.),
IFCBOOLEAN(.T.),IFCBOOLEAN(.F.),IFCBOOLEAN(.T.))
#293= IFCRELCONNECTSSTRUCTURALMEMBER('1$D3QsVBj2kf4iUp5hUEu2',#209,$,$,#263,#280,
#281,$,$,$);
#309= IFCRELCONNECTSSTRUCTURALMEMBER('3Y3WZZzV16XQ$1wEZLWjJX',#209,$,$,#296,
#280,#281,$,$,$);
```

Figura 8: Representação da rótula do pórtico no arquivo STEP. Fonte: Os Autores (2026).

Na Figura 9, expõe-se o engastamento da barra 1 (A). Tratando-se de um apoio, a condição de contorno é definida em *IfcStructuralPointConnection* sem a utilização de *IfcRelConnectStructuralMember*.

```
Conexão pontual A (engaste):
#232= IFCCARTESIANPOINT((0.,0.,0.));
#233= IFCVERTEXPOINT(#232);
#234= IFCTOPOLOGYREPRESENTATION(#212,'Reference','Vertex',(#233));
#235= IFCPRODUCTDEFINITIONSHAPE($,$,(#234));
#236= IFCSTRUCTURALPOINTCONNECTION('3539fAVu96i8mFr0cgUqeI',#209,'Point Connection
#1',$,$,$,#235,#242,$);
#242=IFCBOUNDARYNODECONDITION('Fixed',IFCBOOLEAN(.T.),
IFCBOOLEAN(.T.),IFCBOOLEAN(.T.),IFCBOOLEAN(.T.),IFCBOOLEAN(.T.),IFCBOOLEAN(.T.));
```

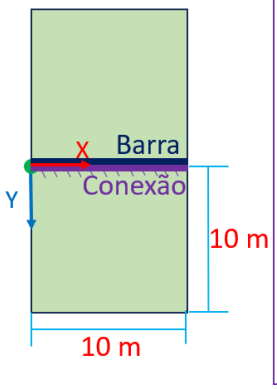
Figura 9: Representação do engaste no apoio A do pórtico. Fonte: Os Autores (2026).

Na Figura 10, apresenta-se a ligação semirrígida (D), modelada como uma mola rotacional em RY. A condição de contorno é definida em *IfcStructuralPointConnection*, com rigidez kθ = 4000 kNm/rad por meio de *IfcRotationalStiffnessMeasure*.

```
Conexão pontual D (mola rotacional):
#267= IFCCARTESIANPOINT((10.,0.,0.));
#268= IFCVERTEXPOINT(#267);
#269= IFCTOPOLOGYREPRESENTATION(#212,'Reference','Vertex',(#268));
#270= IFCPRODUCTDEFINITIONSHAPE($,$,(#269));
#271= IFCSTRUCTURALPOINTCONNECTION('1dqi3aUQP3yeww5muaF15h',#209,'Point Connection
#3',$,$,$,#270,#275,$);
#275=IFCBOUNDARYNODECONDITION('Spring',IFCBOOLEAN(.T.),IFCBOOLEAN(.T.),IFCBOOLEAN(.
T.),IFCBOOLEAN(.T.),IFCROTATIONALSTIFFNESSMEASURE(4000000.),IFCBOOLEAN(.T.));
```

Figura 10: Representação da mola rotacional no apoio D.

Na Figura 11, utiliza-se a mesma lógica do exemplo da Figura 9, porém, nesse caso, a conexão de uma barra com uma placa, utilizando-se uma instância de *IfcStructuralCurveConnection*.




```
Conexão linear engaste (conecta a barra com a placa):
#243= IFCCARTESIANPOINT((0.,0.,0.));
#244= IFCVERTEXPOINT(#243);
#276= IFCCARTESIANPOINT((10.,0.,0.));
#277= IFCVERTEXPOINT(#276);
#301= IFCEDGE(#244,#277);
#20286= IFCTOPOLOGYREPRESENTATION(#212,'Reference','Edge',(#301));
#20288= IFCPRODUCTDEFINITIONSHAPE($,$,(#20286));
#20298= IFCDIRECTION((0.,0.,1.));
#20275= IFCBOUNDARYEDGECONDITION('Fixed',IFCBOOLEAN(.T.),IFCBOOLEAN(.T.),
IFCBOOLEAN(.T.),IFCBOOLEAN(.T.),IFCBOOLEAN(.T.),IFCBOOLEAN(.T.));
#20280= IFCSTRUCTURALCURVECONNECTION('0IHrRf6abAZwDys7n7fbSa',#209,'Curve Connection
#1',$,$,$,#20288,$,#20298);
#30309= IFCRELCONNECTSSTRUCTURALMEMBER('3Y3WZZzV16XQ$1wEZLWjJX',#209,$,$,#296,
#20280,#20275,$,$,$);
#30310= IFCRELCONNECTSSTRUCTURALMEMBER('3Y3WZZzV16XQ$1wEZLWjJY',#209,$,$,#10263,
#20280,#20275,$,$,$);
```

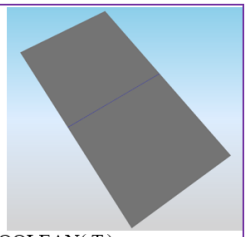


Figura 11: Conexão entre barra e placa. Fonte: Os Autores (2026).

6. Discussões

A especificação IFC 4.3 é capaz de representar geometricamente as conexões definidas no modelo estrutural. Ao longo do desenvolvimento do estudo, mesmo tratando-se de um caso simplificado de um trecho do modelo, ficou clara a complexidade própria do padrão IFC.
No IFC 4.3, o modelo analítico depende de diversos relacionamentos entre entidades, o que aumenta a complexidade do padrão e dificulta tanto sua implementação quanto sua interpretação. A versão oficialmente em uso é o IFC 4.3, sendo, na prática, a referência mais atual para a interoperabilidade [20]. Assim, estudos futuros podem investigar a representação de exemplos mais complexos envolvendo conexões e como o modelo analítico se relaciona com o modelo físico no IFC 4.3.

Agradecimentos

Este trabalho contou com o financiamento do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), por meio do TED nº 00703/2020. Os autores e o grupo de pesquisa expressam também seu agradecimento à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio concedido. Agradece-se, ainda, a colaboração do grupo de pesquisa TechBIM.

Referências

[1] H. P. Khungar and H. Bhandari, "Interoperability Between Building Information Modeling (BIM) and Structural Engineering," *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 1193, no. 1, pp. 012023–012023, Jun. 2023, doi: https://doi.org/10.1088/1755-1315/1193/1/012023.

[2] A. Z. Sampaio and A. M. Gomes, "BIM Interoperability Analyses in Structure Design," *CivilEng*, vol. 2, no. 1, pp. 174–192, Feb. 2021, doi: https://doi.org/10.3390/civileng2010010.

[3] buildingSMART, "Model View Definitions (MVD)," *buildingSMART Technical*. https://technical.buildingsmart.org/standards/ifc/mvd/ (accessed Dec. 27, 2025).

[4] buildingSMART Technical, "MVD Database - buildingSMART Technical," *buildingSMART Technical*. https://technical.buildingsmart.org/standards/ifc/mvd/mvd-database/ (accessed Dec. 27, 2025).

[5] M. Luisa, K. Magalhaes, J. Carlos, Silva, and J. Maria, "Analysis of IFC interoperability data schema for project representation," *Automation in Construction*, vol. 166, pp. 105650–105650, Aug. 2024, doi: https://doi.org/10.1016/j.autcon.2024.105650.

[6] R. Castellano, M. H. A. Charles, J. C. L. Ribeiro, K. M. L. César Júnior, E. M. Kinoshita, J. M. F. de Carvalho e D. S. de Oliveira, "Interoperability for Structural Analysis: Assessmentof IFC Entities for Static Loads," *Proc. VIII Congresso Internacional A Era BIM*, Brasil,2025.

[7] Elsevier, "About Scopus | Abstract and citation database | Elsevier," *beta.elsevier.com*. https://www.elsevier.com/products/scopus (accessed Dec. 27, 2025).

[8] K. Shoieb, M. H. Serror, and M. Marzouk, "Web-Based Tool for Interoperability among Structural Analysis Applications," *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 146, no. 6, Jun. 2020, doi: https://doi.org/10.1061/(asce)co.1943-7862.0001840.

[9] S. Gerbino, L. Cieri, C. Rainieri, and G. Fabbrocino, "On BIM interoperability via the IFC standard: An assessment from the structural engineering and design viewpoint," *Applied Sciences*, vol. 11, no. 23, p. 11430, 2021, doi: 10.3390/app112311430.

[10] H. B. Kaçar and M. A. Şimşek, "Investigation of interoperability performance of BIM-based structural analysis models," *Gazi University Journal of Science*, vol. 37, no. 2, pp. 763–780, 2024, doi: 10.35378/gujs.1380649.

[11] P. Colajanni, L. Inzerillo, A. Pisciotta, F. Acuto, K. Mantalovas, and G. Di Mino, "Architectural and structural interoperability in the BIM design workflow," *Buildings*, vol. 15, no. 24, p. 4540, 2025, doi: 10.3390/buildings15244540.

[12] Kalle Piirainen and R. A. Gonzalez, "Seeking Constructive Synergy: Design Science and the Constructive Research Approach," pp. 59–72, Jun. 2013, doi: https://doi.org/10.1007/978-3-642-38827-9_5.

[13] "buildingSMART IFC Validation Service," *Buildingsmart.org*. https://validate.buildingsmart.org/ (accessed Dec. 27, 2025).

[14] "BIMPLUS - Interdisciplinary Collaboration," *Allplan.com*. https://www.allplan.com/products/allplan-bimplus/ (accessed Dec. 27, 2025).

[15] K. César Junior, "An assessment of the potential of the IFC for RC interoperability," Ph.D. dissertation, University of Leeds, Leeds, U.K., 2007.

[16] "IfcStructuralItem - IFC 4.3.2 Documentation," *Buildingsmart.org*, 2025. https://ifc43-docs.standards.buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4x3/HTML/lexical/IfcStructuralItem.htm (accessed Dec. 27, 2025).
[17] "IfcStructuralSurfaceMember - IFC 4.3.2 Documentation," *Buildingsmart.org*, 2025. https://ifc43-docs.standards.buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4x3/HTML/lexical/IfcStructuralSurfaceMember.htm (accessed Dec. 27, 2025).
[18] "IfcStructuralConnection - IFC 4.3.2 Documentation," *Buildingsmart.org*, 2025. https://ifc43-docs.standards.buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4x3/HTML/lexical/IfcStructuralConnection.htm (accessed Dec. 27, 2025).
[19] buildingSMART International, "Industry Foundation Classes (IFC) - buildingSMART International," *buildingSMART International*. https://www.buildingsmart.org/standards/bsi-standards/industry-foundation-classes/ (accessed Dec. 28, 2025).
[20] "IFC4.3.2.0 Documentation," *ifc43-docs.standards.buildingsmart.org*. https://ifc43-docs.standards.buildingsmart.org/ (accessed Dec. 28, 2025).

12345

VALIDAÇÃO AUTOMATIZADA DE ARQUIVOS IFC PARA GARANTIA DE QUALIDADE EM PROCESSOS OPENBIM

Lucas Gonçalves, Carlos Capanema, Sâmara Melo

ptBIM

VALIDAÇÃO AUTOMATIZADA DE ARQUIVOS IFC PARA GARANTIA DE QUALIDADE EM PROCESSOS OPENBIM

Lucas Gonçalves [(1)], Carlos Capanema [(2)], Sâmara Melo [(3)]

(1) Motiva, Jundiaí - SP - Brasil, 0000-0001-8024-6542
(2) Motiva, Jundiaí - SP - Brasil, 0009-0005-7968-9158
(3) Motiva, Jundiaí - SP - Brasil, 0009-0004-8849-7783

Resumo
A interoperabilidade entre plataformas BIM é um desafio recorrente em projetos que adotam o padrão aberto *Industry Foundation Classes* (IFC). A verificação manual da conformidade desses arquivos é um processo demorado, suscetível a erros e dependente de conhecimento técnico especializado. Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um app de validação automatizada de arquivos IFC, concebido como um mecanismo de Garantia de Qualidade (QA) para modelos BIM. A solução foi baseada nas diretrizes e práticas da buildingSMART, com adaptações para uso interno, integrando-se ao fluxo de avaliação de modelos BIM. A arquitetura proposta combina Python, para leitura e interpretação semântica dos dados IFC, garantindo execução local e segurança das informações, sem dependência de servidores externos. Entre os diferenciais, destacam-se: validação semântica além da sintática, customização de regras matriz de informação do projeto, processamento consolidado e interface amigável para usuários não técnicos. Testes preliminares indicam potencial para reduzir em até 99% o tempo de análise, aumentar em 100% a cobertura da verificação de requisitos e diminuir falhas de interoperabilidade. A ferramenta contribui para a eficiência operacional, redução de custos e melhoria da qualidade dos modelos BIM, representando um avanço significativo para processos openBIM e certificação de conformidade em ambientes corporativos.

1. Introdução

A crescente adoção do BIM na indústria de infraestrutura, elevou a importância da interoperabilidade entre diferentes softwares e stakeholders. O IFC é um esquema de dados comum para descrever informações do modelo BIM, que visa estabelecer um método padrão de representação e armazenamento de dados [1]. Promovido pela *BuildingSmart International*, o IFC permite que as informações sejam armazenadas em um modelo de dados estruturado e

trocadas entre diferentes softwares, sendo atualmente o modelo de dados de maior domínio para *openBIM* [2].

A consolidação do IFC como o padrão aberto para troca de dados de modelos BIM, permite fluxos de trabalho *OpenBIM*. No fluxo de trabalho *openBIM*, diversos tipos de softwares passam a importar e exportar dados de construção neste formato, promovendo o compartilhamento de informações entre diferentes especialidades. Dessa forma, diferentes partes interessadas (concessionárias, projetistas, gestores, proprietários) colaboram sem a necessidade de utilizar o mesmo software de autoria nativa [3]. Isso é vital em projetos complexos que exigem a integração de múltiplas disciplinas, evitando a perda de dados durante a importação e exportação entre plataformas heterogêneas [4].

Ações governamentais de adoção do BIM, como a Estratégia BIM BR, torna obrigatório o desenvolvimento de projetos, obras e manutenção de ativos de Rodovias em BIM. Nesse cenário, a Motiva Rodovias, empresa que administra mais de 5.000 km de malha rodoviária brasileira, projeta um Capex recorde de R$ 60 bilhões para os próximos anos, possui obrigações contratuais de entregas em BIM com os principais Poder Concedente: ANTT (Agência Nacional de Transporte Terrestres) e ARTESP (Agência de Transporte do Estado de São Paulo). Presente em todo o ciclo de vida do ativo, da concepção à operação, a concessionária adequa-se agora às novas exigências dos órgãos reguladores estaduais e federais do Brasil.

Um dos pontos críticos no fluxo de projeto em fase de pré-obra é o recebimento de modelos de terceiros. Embora o Plano de Implantação BIM de cada concessão da Motiva Rodovia aplique capacitação prática e teórica para todos os envolvidos nos projetos e obras em BIM, as práticas de *openBIM* e a manipulação técnica do formato IFC ainda estão em estágio inicial de maturidade na empresa.

A ausência de uma verificação sistemática na entrada dos dados pode propagar erros geométricos e semânticos para as etapas subsequentes, comprometendo a aplicação dos Usos BIM definidos para o empreendimento em questão. Problemas comuns incluem a perda de hierarquia espacial, geometria deslocada, ausência de classificações ou propriedades vazias, que muitas vezes só são detectados tardiamente, gerando retrabalho oneroso [5], [6], [7].

O uso de formatos proprietários e as diferenças na implementação do esquema IFC pelos softwares de autoria podem resultar em perda de dados, inconsistências e falhas na interoperabilidade [6], [7]. Por isso, a qualidade dos arquivos IFC gerados nem sempre é garantida pelos softwares de autoria nativos, resultando em perdas de informação geométrica ou semântica durante a exportação [6].

A validação manual destes arquivos exige que especialistas verifiquem hierarquias complexas, presença de propriedades e integridade geométrica, e outras séries de verificações técnicas. Toda essa avaliação de forma manual torna o processo oneroso e lento, muitas vezes impraticável a depender do volume de projetos e capacidade analítica das equipes.

Nesse contexto de alta demanda e complexidade técnica, este artigo descreve o desenvolvimento, a implementação e resultados de uma aplicação voltada à automação da verificação de qualidade dos modelos IFC em relação a aderência à matriz de informação, visando otimizar a governança de dados da concessionária, assegurando que apenas arquivos IFC em conformidade técnica avancem para o ambiente comum de dados federado.

2. Metodologia

O objetivo desta pesquisa foi criar uma ferramenta capaz de fornecer feedback visual e analítico imediato da qualidade dos arquivos .ifc. Considerando as questões anteriormente apresentadas e o objetivo da pesquisa, foi adotado a *Design Science Research* (DSR). As etapas seguidas na DSR foram: Identificação do problema e motivação, apresentada na introdução; Definição dos objetivos da solução; Design e desenvolvimento, elaboração e adaptação do artefato (app); Aplicação, etapa experimental de uso em projetos reais; Avaliação, etapa para medir o alcance dos objetivos iniciais do artefato e generalização para uma determinar classe de problemas [8].

2.1. Definição dos Objetivos da Solução

Em alinhamento às necessidades apresentadas pelos BIM Managers da Motiva, além da estrutura da integridade dos arquivos .ifc, da consistência e hierarquia, foi relatada a necessidade de verificar as informações da matriz de informação requeridas nos modelos de forma local, e com capacidade de verificar arquivos superiores a 250 mb.

Dessa forma, a solução deverá ser capaz de realizar de forma automática a análise de hierarquias, presença de propriedades e integridade geométrica. Processar a geometria e os dados alfanuméricos, gerando relatórios de conformidade.

A ferramenta deverá implementar um conjunto de regras de validação abrangente, cobrindo requisitos sintáticos e semânticos. A cobertura dos requisitos foi desenhada para atender às normas da buildingSMART e requisitos internos da empresa em:

1. **Validação Sintática**: Verificação da integridade do arquivo físico conforme a sintaxe padrão STEP (ISO 10303-21), garantindo a presença de cabeçalhos obrigatórios e que o arquivo seja legível por softwares [9];
2. **Validação do Esquema**: Análise da conformidade com a hierarquia espacial obrigatória (como a presença de IfcProject, IfcSite) e dos relacionamentos lógicos de agregação definidos no padrão IFC [10];
3. **Validação Geométrica**: Conferência do georreferenciamento correto (incluindo sistemas de coordenadas projetadas e rotação do Norte Verdadeiro) [5] [10] e verificação da existência de representação geométrica para todos os produtos listados, evitando elementos "invisíveis";
4. **Validação Semântica** (Propriedades): Verificação da presença de Property Sets (IfcPropertySet) fundamentais e da classificação correta das entidades (ex: distinção entre classes específicas e genéricas), assegurando a consistência dos dados alfanuméricos [3] [10].
5. **Conformidade com Requisitos** (BEP): Auditoria automatizada via IDS (*Information Delivery Specification*) para validar se os requisitos de informação contratuais, formalizados na Matriz de Informação [11], estão preenchidos, juntamente com o uso de regras Gherkin para verificar proposições normativas, acordos de implementação e práticas da área;
6. **Interferências Geométricas**: validação de dados/arquivo, deve ser tratado como uma etapa posterior às anteriores, distinta da verificação de consistência do arquivo digital, para que os resultados dessa fase reflitam de fato as inconsistências de sobreposição espacial entre os objetos do modelo 3D.

2.2. Design e Desenvolvimento

O desenvolvimento da aplicação seguiu uma abordagem modular, separando a lógica de validação, o processamento geométrico e a interface do utilizador. A linguagem de

programação escolhida foi Python 3, devido ao seu robusto ecossistema de bibliotecas para engenharia de dados e suporte à manipulação de arquivos IFC através do *IfcOpenShell*.
O fluxo de funcionamento da aplicação ocorre em quatro etapas:
(1) Carregamento do ficheiro .ifc;
(2) Execução dos algoritmos de validação (Sintaxe, *Schema*, Geometria e Propriedades);
(3) Cálculo de métricas de qualidade;
(4) Geração de relatórios (HTML) e de forma opcional visualização do modelo 3D no arquivo.
A arquitetura do software baseia-se em bibliotecas de código aberto para processar a geometria e os dados alfanuméricos, foram utilizadas:

- *IfcOpenShell*: Núcleo da aplicação, responsável pelo *parsing* do arquivo IFC (norma ISO 10303-21). Esta biblioteca permite a iteração sobre entidades, extração de propriedades e conversão de geometria implícita para malhas explícitas.
- *Tkinter & Ttkbootstrap*: Utilizadas para a construção da Interface Gráfica do Utilizador (GUI). O *Tkbootstrap* confere uma estética moderna e responsiva, essencial para a usabilidade por profissionais não programadores.
- *Matplotlib & Mplot3d*: Responsáveis pela renderização da visualização 3D leve integrada na ferramenta, permitindo a conferência visual da geometria processada.
- *Trimesh*: Biblioteca auxiliar utilizada para simplificação de malhas complexas e melhoria de performance na visualização de modelos com alta contagem de polígonos.

2.2.1. Métricas de Qualidade (BIM Score)

Após a análise das quatro etapas anteriormente citadas, o app deverá calcular um "Score de qualidade" do modelo. Este índice fornece uma visão rápida sobre a maturidade do modelo para os gestores do projeto. O algoritmo, implementado na classe *QualityMetricsPanel*, pondera a completude geométrica e a completude de propriedades alfanuméricas:

$$Score = \frac{Razão\ Geometria\ \% + Razao\ Propriedades\ \%}{2} \quad (1)$$

2.2.2. Interface da Aplicação e Visualização

A interface foi desenhada para ser intuitiva, dividida em abas funcionais que segregam a configuração, os resultados textuais e a análise gráfica. A tela inicial permite ao utilizador selecionar o arquivo IFC e configurar quais módulos de validação (Sintaxe, *Schema*, Geometria, Propriedades) serão executados.
Após o processamento, a aba "Detalhes de Validação" apresenta um resumo executivo e detalhes técnicos dos erros encontrados, permitindo ao analista ou BIM Manager ter um feedback e estatísticas da condição do arquivo IFC.

2.2.3. Visualizador 3D Integrado

A aba de visualização renderiza a geometria do modelo diretamente na aplicação. Utilizando o *ifcopenshell.geom*, a ferramenta converte as formas paramétricas em vértices e faces, renderizadas via *matplotlib*. Esta funcionalidade permite identificar visualmente elementos que podem ter sido exportados com coordenadas erradas ou geometria corrompida, sem a necessidade de abrir um visualizador externo.

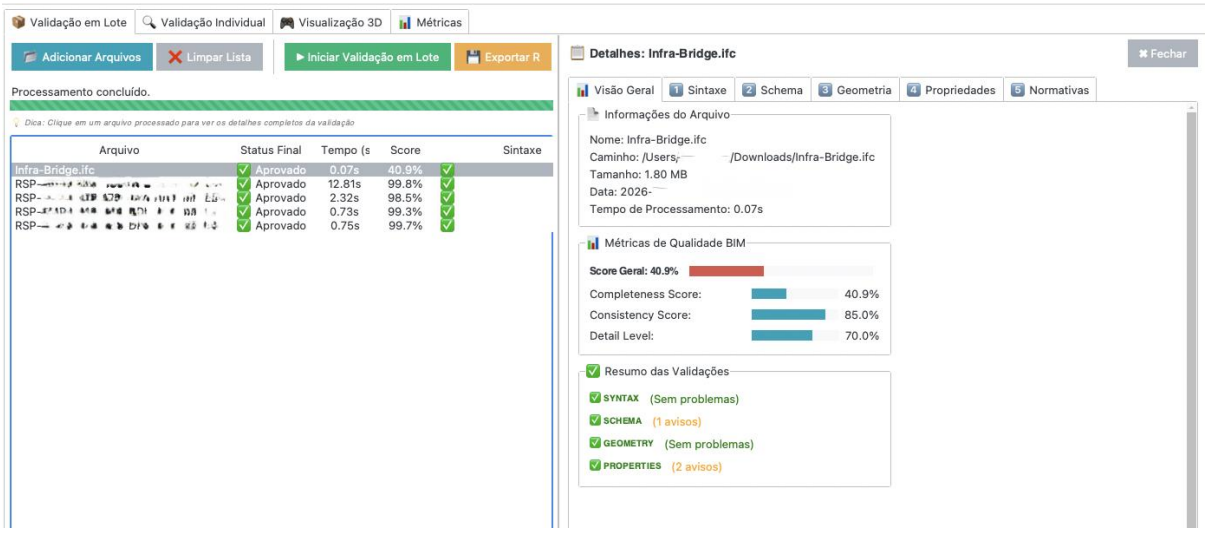


Figura 1: Interface principal

3. Testes

3.1. Objetivo e Desenho Experimental

Esta seção avalia o desempenho do aplicativo de validação de arquivos IFC por meio de medições do tempo de processamento em lote. Os arquivos analisados foram agrupados em cinco classes, definidas de acordo com o tamanho dos arquivos, conforme descrito a seguir:

- Muito pequenos: arquivos com tamanho inferior a 20 MB;
- Pequenos: arquivos com tamanho entre 20 MB e 100 MB;
- Médios: arquivos com tamanho entre 100 MB e 500 MB;
- Grandes: arquivos com tamanho entre 500 MB e 1 GB;
- Muito grandes**:** arquivos com tamanho superior a 1 GB.

Adicionalmente, apresenta-se uma estimativa técnica do tempo necessário para a realização de uma validação humana manual e completa no nível do arquivo **STEP (ISO 10303-21)**. Essa abordagem pressupõe a inspeção linha a linha do conteúdo do arquivo, com o objetivo de verificar identificadores globais (***GlobalId***), hierarquia de entidades, propriedades e relações. Embora teoricamente possível, tal procedimento mostra-se operacionalmente inviável quando aplicado a arquivos de grande porte ou a conjuntos volumosos de dados.

3.2. Ambiente de Testes

Os testes foram realizados localmente em um *laptop Dell Precision* 3591, garantindo execução independente de servidores externos. O sistema operacional adotado foi o *Windows 11*, versão 24H2. A configuração do equipamento utilizado é apresentada a seguir: Processador Intel Core Ultra 9 185H, com frequência base de 2,32 GHz; Memória RAM de 32 GB; Unidade de armazenamento SSD NVMe com capacidade de 1 TB; Placa gráfica dedicada NVIDIA RTX 2000 Ada.

3.3. Conjunto de Dados e Agrupamento por Tipo

O conjunto de dados utilizado no benchmark é composto por 183 arquivos IFC, previamente classificados em cinco faixas de tamanho conforme planilha de controle, e com tempos de processamento por arquivo registrados na coluna "Tempo". A Tabela 1 apresenta a quantidade de arquivos por tipo (n) e o total de tempo de processamento do aplicativo por categoria.

3.4. Métrica Principal: Tempo de Processamento do Aplicativo

A métrica de desempenho adotada foi o tempo total de processamento (somatório dos tempos por arquivo) por categoria e no total geral, diretamente a partir do *dataset*.

Tabela 1: Tempo total de processamento do aplicativo por tipo

Tipo	n (arquivos)	Tempo total (s)	Tempo total (min)	Tempo total (h)
Muito pequenos	126	40,27	0,67	0,011
Pequenos	28	79,32	1,32	0,022
Médios	18	486,19	8,10	0,135
Grandes	7	851,10	14,19	0,236
Muito grandes	4	4247,45	70,79	1,180
Total geral	183	5704,33	95,07	1,585

3.5. Análise de Dispersão dos Tempos por Arquivo

A distribuição dos tempos por arquivo é assimétrica: categorias menores concentram muitos arquivos com tempos na ordem de centésimos de segundo, enquanto a categoria "Muito grandes" apresenta tempos na ordem de centenas a milhares de segundos por arquivo.

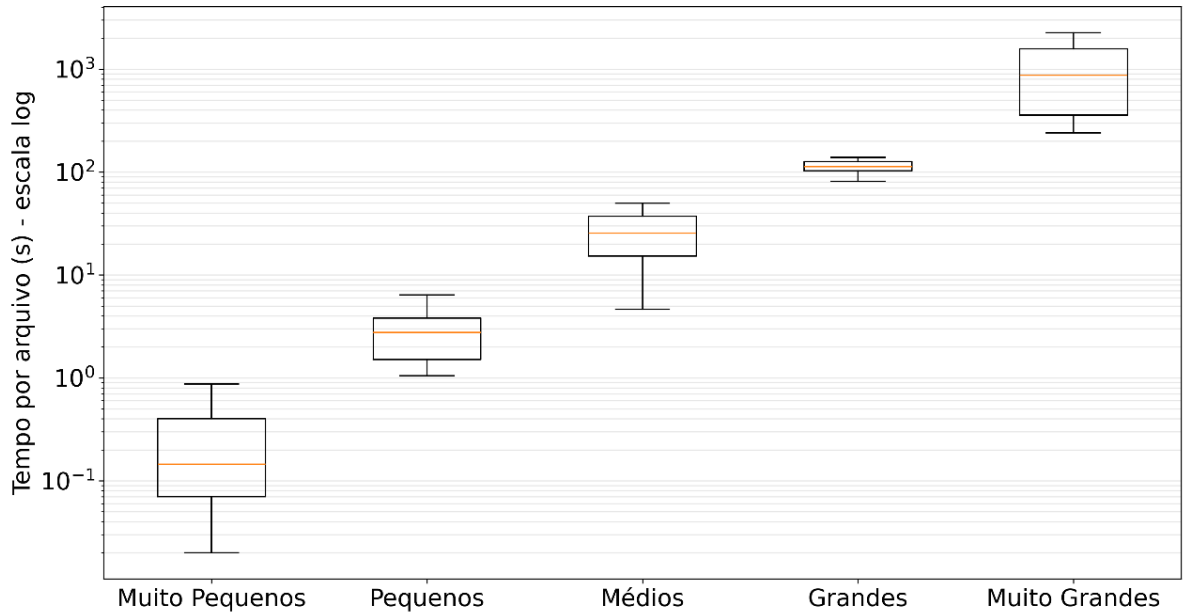


Figura 2: Distribuição dos tempos por arquivo

3.6. Estimativa técnica: validação humana manual linha a linha (STEP/ISO 10303 21)

A validação manual completa no nível STEP requer que o avaliador interprete o arquivo texto no formato ISO 10303-21, acompanhando instâncias, parâmetros e referências cruzadas. No caso específico do IFC, a verificação de *GlobalId* (IFC-GUID) demanda conhecimento das regras de codificação e conformidade (por exemplo, tamanho fixo e conjunto de caracteres), além de inspeção das entidades e relações associadas.

3.6.1. Modelo de estimativa (ordem de grandeza)

Para estimar o esforço humano sem tratá-lo como alternativa operacional, adotou-se um modelo conservador baseado em volume de texto:

- Estimativa de linhas: Assume-se que o arquivo STEP apresenta instâncias tipicamente organizadas por linha, prática comum em arquivos ISO 10303-21. Assim, o número de linhas cresce aproximadamente com o tamanho do arquivo (em KB).
- Conservadorismo no "tamanho por linha": Para não subestimar o número de linhas, utiliza-se 80 bytes/linha (quanto menor o valor, maior a quantidade estimada de linhas).
- Tempo humano por linha (inclui GUID + hierarquia + relações): Três cenários são apresentados para representar diferentes níveis de rigor ao verificar GUIDs, navegar em relações e checar consistência hierárquica:
- Otimista: 10 s/linha
- Realista: 30 s/linha
- Conservador: 60 s/linha

A necessidade de checar GUIDs e coerência relacional (hierarquia, propriedades e vínculos) torna a inspeção humana cumulativa por instância/linha e não escalável por amostragem quando o objetivo é validação completa

Tabela 2: Estimativa do Tempo Manual para o Dataset Completo

Cenário	Tempo manual estimado (h)
Otimista (10 s/linha)	**523.464 h**
Realista (30 s/linha)	**1.570.391 h**
Conservador (60 s/linha)	**3.140.783 h**

A Tabela 2 evidencia que, mesmo em cenário otimista, a validação manual completa (STEP linha a linha) exigiria centenas de milhares de horas, caracterizando inviabilidade prática para grandes volumes. A Tabela 3 apresenta síntese entre o aplicativo e o manual estimado.

Tabela 3: Tabela Comparativa. Fonte: os autores, 2026

Item	Aplicativo (observado)	Manual linha a linha (estimado)
Base	Tempos medidos por arquivo no *dataset*	ISO 1030321 + inspeção de GUIDs-21 + inspeção de GUIDs e relações
Cobertura	Processamento integral do lote (183 arquivos)	Cobertura integral é teoricamente possível, porém não escalável
Tempo total	**1,585 h** (95,07 min)	**10^5–10^6 h** (ordem de grandeza)
Implicação	Viabiliza QA sistemática em volume	Operacionalmente inviável para grandes lotes

3.7. Integração Com o Fluxo Humano

No processo operacional típico de avaliação de modelos BIM em concessões, a inspeção humana não é realizada em código estrutural, mas sim de forma amostral (spot check) e visual. Na prática real, um especialista ou analista do projeto dedica, em média, de 4 a 12 horas por modelo para realizar verificações, inspecionando uma amostra direcionada (frequentemente entre 10% e 20% dos elementos) para aferir a aderência à matriz de informação. O benefício do aplicativo desenvolvido reside na transição deste paradigma: em vez de empregar horas de trabalho especializado para validar apenas uma fração do modelo, o processo automatizado executou uma varredura integral (100%) em um lote de 183 arquivos em apenas 1,58 horas. A ferramenta aplica-se a todos os ativos rodoviários em geral, evidenciando que a automação substitui a amostragem sujeita a falhas humanas por uma verificação sistemática, veloz e paramétrica.

3.8. Limitações do Teste (Delimitação Necessária)

Atualmente, a ferramenta encontra-se na versão de produção para os itens 1 a 4 (Sintaxe, Esquema, Geometria e Propriedades base), operando de forma estável. Os itens 5 (conformidade contratual via IDS) e 6 (Interferências Geométricas) compõem o escopo do próximo ciclo de desenvolvimento. Esta priorização metodológica ocorreu porque a consistência estrutural e geométrica é um pré-requisito indispensável; a auditoria semântica contratual não pode ser executada com confiabilidade sobre modelos com falhas sintáticas elementares. A previsão de integração plena do interpretador IDS está mapeada para a próxima etapa do projeto, momento em que a matriz de informação será atrelada diretamente ao motor de regras da aplicação.

4. Resultados e Discussão: Análise Geral dos Testes Executados

Os testes realizados foram positivos e são válidos para mensurar o benefício do aplicativo sob a ótica que esta seção se propôs a avaliar: desempenho temporal em processamento real (*benchmark*) e escalabilidade frente a um cenário manual completo. O conjunto analisado é suficientemente expressivo (183 arquivos, distribuídos em cinco classes), e a soma dos tempos evidencia um resultado objetivo: o processamento automatizado do lote completo foi concluído em 95,07 minutos (1,585 h), com concentração do tempo total nos arquivos muito grandes (70,79 min somente nessa classe), o que é coerente com a natureza do IFC (crescimento de entidades e relações conforme o tamanho).

Os resultados dos testes mostram a importância do app na mitigação de horas técnicas dos analistas, justificando o tempo de desenvolvimento do aplicativo, porque demonstra, com dados observados do pipeline, que a solução permite tratar um volume alto e heterogêneo de arquivos em uma janela operacional viável; além disso, a descrição do ambiente de execução e das dependências sustenta a reprodutibilidade e reforça que o tempo medido não depende de infraestrutura externa.

Quanto à quantidade e ao tamanho dos arquivos, o desenho também é válido: a amostra inclui classes com muitos arquivos pequenos e poucos arquivos muito grandes, refletindo a distribuição típica em entregas por disciplina e submodelos, e permitindo observar tanto casos rápidos quanto casos críticos (cauda longa).

A estimativa da validação manual completa, baseada em leitura linha a linha do STEP/ISO 10303-21 com checagem de GUIDs, hierarquia, entidades, propriedades e relações, cumpre seu papel como estimativa técnica de inviabilidade (não como alternativa operacional), pois traduz o esforço humano em ordem de grandeza compatível com a complexidade do arquivo texto e das regras de identificação do IFC-GUID, reforçando porque a automação é necessária para escala. Como reforço adicional de validade prática, o fluxo humano real de avaliação de modelos tende a operar por amostragem (*spot check*) e checagens dirigidas, justamente por limitação de tempo e volume, o que converge com a conclusão do teste de que validação manual exaustiva não escala.
Do app além dos benefícios de 100% de cobertura da análise dos requisitos, podem ser destacados também a capacidade de exportar relatórios (HTML) cria um rastro de auditoria, documentando a conformidade do modelo em marcos contratuais específicos. O Aumento da confiança na base de dados para extração de quantitativos e outros usos do BIM. Padronização no nível de qualidade exigido dos fornecedores de projeto. Segurança, a execução local do script Python assegura que dados proprietários não trafeguem por servidores de terceiros.

4.1. Limitações da Aplicabilidade

Apesar dos ganhos operacionais mensuráveis, a aplicabilidade atual da ferramenta apresenta limitações práticas que devem ser contextualizadas. Primeiramente, os testes e o desenvolvimento foram homologados estritamente em ambiente Windows com hardware de alta capacidade (32 GB RAM e processamento dedicado). O comportamento do aplicativo com arquivos muito grandes em ambientes com recursos limitados ou em outros sistemas operacionais (como macOS e distribuições Linux) ainda carece de validação para assegurar verdadeira portabilidade multiplataforma. Adicionalmente, a ferramenta atua como um validador de diagnóstico; ela identifica falhas no esquema e nas geometrias exportadas, mas não realiza correções ativas nos modelos, exigindo que o retrabalho seja feito no software de autoria nativo. O objetivo fundamental da aplicação é atuar como uma barreira de qualidade (QA).

5. Conclusão

A validação automatizada de arquivos IFC não é apenas uma conveniência técnica, mas um pilar fundamental para a governança de dados em BIM. A ferramenta apresentada demonstrou como soluções baseadas em código aberto e execução local podem oferecer verificações robustas, agregando valor ao garantir que a informação que flui entre os stakeholders seja íntegra, estruturada e útil. Ao automatizar a detecção de erros sintáticos, semânticos e geométricos, o aplicativo libera os especialistas humanos para focarem em problemas de engenharia e arquitetura de maior complexidade, elevando a maturidade digital do empreendimento. A ferramenta demonstrou em teste práticos ser capaz de fornecer uma solução customizada de baixo custo e alto impacto para a garantia de qualidade em processos de projetos OpenBIM.
Trabalhos futuros incluirão a e expansão das regras para verificação de colisões (*clash detection*), a integração com a validação de requisitos de informação por IDS.

Referências

[1] S. Jiang, L. Jiang, Y. Han, Z. Wu, and N. Wang, "OpenBIM: An Enabling Solution for Information Interoperability," Applied Sciences, vol. 9, no. 24, p. 5358, Dec. 2019. doi: 10.3390/app9245358.

[2] D. Avogaro, M. Berlato, and C. Zanchetta, "Process Scheduling Application Based on Web Ontology Language Representation of the IFC Schema," in Digital Innovations in Architecture Engineering and Construction (CMW 2024), Cham, Switzerland: Springer, 2025, pp. 125-135. doi: 10.1007/978-3-031-87224-2_11.

[3] E. D. Okonta, V. Vukovic, and E. Hayat, "Prospective Directions in the Computer Systems Industry Foundation Classes (IFC) for Shaping Data Exchange in the Sustainability and Resilience of Cities," Electronics, vol. 13, no. 12, Jun. 2024. doi: 10.3390/electronics13122297.

[4] R. B. Otranto, G. Miceli, and P. C. Pellanda, "BIM-FM INTEGRATION THROUGH OPENBIM: SOLUTIONS FOR INTEROPERABILITY TOWARDS EFFICIENT OPERATIONS," Journal of Information Technology in Construction (ITcon), vol. 30, 2025. doi: 10.36680/j.itcon.2025.012.

[5] F. Noardo et al., "Tools for BIM-GIS Integration (IFC Georeferencing and Conversions): Results from the GeoBIM Benchmark 2019," ISPRS International Journal of Geo-Information, vol. 9, no. 9, Sep. 2020. doi: 10.3390/ijgi9090502.

[6] T. Akanbi, J. Zhang, and Y.-C. Lee, "Data-Driven Reverse Engineering Algorithm Development Method for Developing Interoperable Quantity Takeoff Algorithms Using IFC-Based BIM," Journal of Computing in Civil Engineering, vol. 34, no. 5, Sep. 2020. doi: 10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000909.

[7] H. Li and J. Zhang, "Semiautomatic IFC-Based BIM Reconstruction for As-Designed Bridges from 2D Plans Leveraging Semantic Segmentation and Enrichment," Journal of Computing in Civil Engineering, vol. 39, no. 6, Nov. 2025. doi: 10.1061/JCCEE5.CPENG-5931.

[8] A. Dresch, D. Pacheco Lacerda, and J. A. V. Antunes, Design science research: a method for science and technology advancement. Switzerland: Springer, 2015.

[9] BuildingSmart International, "IFC Validation Service," 2025. [Online]. Available: https://www.buildingsmart.org/users/services/validation-service/. [Accessed: Nov. 3, 2025].

[10] M. L. R. Antunes, K. M. L. César, J. C. L. Ribeiro, D. S. D. Oliveira, and J. M. F. D. Carvalho, "Analysis of IFC interoperability data schema for project representation," Automation in Construction, vol. 166, p. 105650, Oct. 2024. doi: 10.1016/j.autcon.2024.105650.

[11] R. R. Santos, P. F. L. Picoli, S. M. C. Melo, N. M. Silva, and C. Kehl, "Method for Measuring Physical and Financial Progress for BIM-Based Projects," in Anais do VIII Congresso Internacional A Era BIM, Brasil: Motiva, 2024.

12345

BIBLIOTECA DE OBJETOS BIM PARA A AVALIAÇÃO DE CONFORTO TÉRMICO E LUMINOSO EM EDIFICAÇÕES - O ESTADO DA ARTE

Ana Luiza Onofri, Isabele Castellano, Kléos César JR, Douglas L. Souza, Carlos Eduardo R. Santos, José Maria F. Carvalho, José Carlos L. Ribeiro

ptBIM

BIBLIOTECA DE OBJETOS BIM PARA A AVALIAÇÃO DE CONFORTO TÉRMICO E LUMINOSO EM EDIFICAÇÕES - O ESTADO DA ARTE

Ana Luiza Onofri[(1)], Isabele Castellano[(2)], Kléos César JR[(3)], Douglas L. Souza[(4)], Carlos Eduardo R. Santos[(5)], José Maria F. Carvalho[(6)], José Carlos L. Ribeiro[(7)]

(1) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, ID ORCID 0009-0009-8155-258X
(2) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, ID ORCID 0009-0004-8667-8310
(3) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, ID ORCID 0000-0003-4779-4226
(4) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, ID ORCID 0000-0001-5422-0533
(5) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, ID ORCID 0000-0001-7085-443X
(6) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, ID ORCID 0000-0001-5785-3213
(7) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, ID ORCID 0000-0003-4069-7001

Resumo
A eficiência energética é um dos principais indicadores de sustentabilidade das edificações, diretamente relacionada ao desempenho energético dos elementos construtivos. No cenário brasileiro, o uso do *Building Information Modeling* (BIM) para análises desses conceitos ainda é limitado, devido aos desafios enfrentados na interoperabilidade e a ausência de padronização dos parâmetros construtivos necessários para a simulação. Este trabalho tem como objetivo apresentar o estado da arte de bibliotecas de objetos BIM paramétricos voltadas à avaliação do conforto térmico e luminoso em edificações residenciais e comerciais, conforme as diretrizes da NBR 15220:2005 e da NBR 15575:2013. O método proposto envolve analisar os critérios da criação de uma biblioteca composta por elementos paramétricos representativos dos principais elementos construtivos: paredes, portas, janelas, clarabóias, lajes e dispositivos de proteção solar. Cada elemento contém atributos específicos, como transmitância, condutividade térmica, absortância e fator solar, de modo a possibilitar uma avaliação de desempenho, por meio da tecnologia BIM. A implementação de tais bibliotecas, segundo critérios de conforto térmico e luminoso, contribui significativamente para o avanço da modelagem sustentável, promovendo a padronização de informações construtivas, a redução do retrabalho de modelagem interdisciplinar e o aumento da precisão das simulações. Tal abordagem fortalece o uso do BIM como ferramenta estratégica de projeto e gestão, alinhada às metas de eficiência energética e redução de impacto ambiental.

1. Introdução

A redução dos impactos ambientais é um dos principais desafios que a construção civil global precisa superar, uma vez que, segundo o Conselho Internacional da Construção [1], o setor é responsável por cerca de 40% de todo o consumo de energia, além de 30% das emissões de gases na atmosfera e 30% dos resíduos gerados. Assim, a eficiência energética em edificações é uma das principais estratégias que a atividade construtiva vem adotando, sendo também um

dos indicadores de desempenho do edifício e um dos requisitos avaliados na construção sustentável.

No Brasil, os edifícios são responsáveis pelo consumo de uma parcela significativa de toda a energia elétrica nacional (cerca de 45%, distribuídos entre os setores residencial, comercial e público), segundo o Atlas da Eficiência Energética Brasil [2]. Nesse sentido, torna-se importante o conceito de *Building Information Modeling* (BIM) e sua relação com a simulação computacional e de desempenho ambiental, conforme discutido por [3] e pela ISO 19650/2018 [4].

A aplicação do BIM em simulações de desempenho energético ainda é recente, e as ferramentas atualmente disponíveis apresentam limitações de interoperabilidade entre diferentes sistemas, o que exige a importação e a configuração dos modelos de projeto em softwares específicos de análise, como *EnergyPlus*, *Radiance* e DIVA, frequentemente comprometida por perdas de informação em fluxos baseados em IFC e gbXML. Diante disso, é importante adotar critérios rigorosos na etapa de modelagem, especialmente quanto à padronização de parâmetros de eficiência energética e à incorporação de dados técnicos adequados nos componentes BIM, de modo a minimizar perdas de informação e garantir a viabilidade das simulações[5]; [6].

Este trabalho tem por objetivo principal identificar, analisar e sistematizar o estado da arte relacionado ao desenvolvimento e da aplicação de bibliotecas de objetos BIM voltadas à avaliação de conforto térmico e luminoso em edificações. Buscou-se identificar quais parâmetros de desempenho são incorporados a objetos existentes e como contribuem para a integração entre modelagem BIM e de simulações de desempenho ambiental ao longo das fases iniciais de projeto.

Este estudo consiste em uma revisão bibliográfica sistemática da literatura nacional e internacional, com foco em artigos científicos, normas técnicas e publicações institucionais que abordam BIM, desempenho ambiental, conforto térmico e conforto luminoso. As bases de dados consultadas incluem repositórios acadêmicos, priorizando estudos publicados nos últimos anos e amplamente citados na área. A seleção dos trabalhos seguiu critérios de relevância temática, aderência ao escopo do estudo e contribuição metodológica para o desenvolvimento de bibliotecas BIM orientadas ao desempenho.

2. Referencial teórico

Este estudo adota uma revisão bibliográfica estruturada a partir de diretrizes inspiradas no protocolo PRISMA, visando garantir transparência, rastreabilidade e reprodutibilidade. Foram encontradas 18 publicações através da plataforma Scopus [7], entre os anos de 2012 e 2026, que possuam o título, o resumo ou as palavras chaves com os descritores do tema deste trabalho.

O gráfico 1 apresenta uma análise do número de publicações ao longo dos anos. Observa-se que as pesquisas ocorreram principalmente após o ano de 2022, o que pode estar relacionado ao avanço das tecnologias e à relevância crescente do tema. A literatura evidencia um crescimento significativo das pesquisas relacionadas ao uso do BIM para avaliação de desempenho ambiental, especialmente a partir de 2020. No entanto, esse avanço não ocorre de forma homogênea entre países e abordagens metodológicas.



Gráfico 1: Número de publicações ao longo dos anos
Fonte: Autores, 2026 adaptado de Scopus [7].

O gráfico 2 apresenta a relação entre os países e o número de publicações envolvendo os escritores, com destaque para a Coreia do Sul. Enquanto outros países focam no BIM para a gestão de custos e detecção de interferências, a Coreia do Sul o utiliza como ferramenta central de estratégia ambiental e desempenho energético, o que eleva o número de publicações científicas de alto nível.

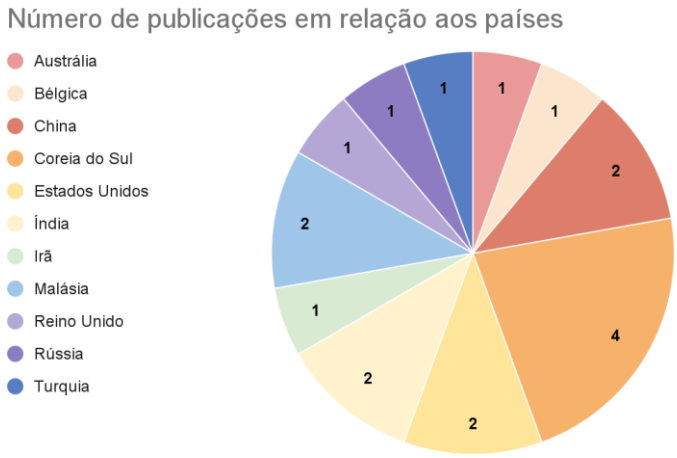


Gráfico 2: Número de publicações em relação aos países
Fonte: Autores, 2026 adaptado de Scopus [7].

3. BIM para a avaliação de conforto térmico e luminoso em edificações

A simulação computacional do comportamento de edificações integrada ao BIM é o processo de construir uma cópia virtual a partir de seus componentes. Essa simulação permite prever situações críticas, possibilitando uma análise integrada do seu ciclo de vida [3]. [8], citando aspectos relevantes do desempenho do edifício, afirma que tais simulações contribuem para decisões projetuais.

A realização de simulações computacionais de desempenho em edificações requer um conjunto de dados de entrada, cujo nível de detalhamento está relacionado à precisão da análise. Em

estudos de desempenho térmico e energético, essa precisão depende da integração de múltiplos domínios de informação, conforme normas de gestão da informação em BIM, como a ISO 19650 [4], que estabelece diretrizes para a estruturação e confiabilidade dos dados ao longo do ciclo de vida da edificação.

No contexto internacional, normas como a EN ISO 52016 [9], bem como diretrizes da ASHRAE 90.1 [10] e ASHRAE 55 [11], desempenham um papel na definição de parâmetros utilizados em simulações térmicas e energéticas. Paralelamente, iniciativas como a *buildingSMART International* (bSI) promovem o uso de padrões abertos, como o *Industry Foundation Classes* (IFC), visando garantir interoperabilidade entre plataformas.

A caracterização do ambiente constitui se a partir das condições de contorno climáticas e operacionais. Dados meteorológicos organizados em séries temporais, como os arquivos *EnergyPlus Weather* (EPW), permitem representar o comportamento climático local ao longo do tempo e são utilizados em simulações energéticas [12] e [13]. Esses parâmetros podem ser incorporados aos modelos, por meio de bibliotecas BIM, que passam a atuar como repositórios de informações ambientais associadas ao contexto geográfico do projeto.

A geometria da edificação, por sua vez, é definida pela configuração morfológica e volumétrica do modelo BIM, sendo responsável pelas trocas energéticas entre os ambientes interno e externo. Essas trocas são mediadas pelas propriedades termofísicas e espectrais da envoltória — como transmitância térmica, capacidade térmica e fator solar —, conforme estabelecido por normas de desempenho e de conforto térmico [14]; [15].

O modelo considera também as cargas térmicas internas geradas pelos sistemas de iluminação e equipamentos, assim como o desempenho operacional do sistema de HVAC (*Heating, Ventilation and Air Conditioning* – Aquecimento, Ventilação e Ar-Condicionado). Embora formatos como IFC e gbXML sejam amplamente utilizados, estudos apontam perdas recorrentes de informação, especialmente relacionadas às propriedades térmicas dos materiais, à definição de zonas térmicas e aos parâmetros de iluminação natural. Destaca-se a importância do mapeamento explícito dos parâmetros dos objetos BIM para *Property Sets* do IFC, tais como: *Pset_WallCommon* (propriedades térmicas de paredes); *Pset_WindowCommon* (fator solar e transmitância). Esses elementos são controlados por perfis de ocupação estocásticos e por protocolos de automação predial, os quais definem as estratégias de operação da edificação [16]; [13].

A Figura 1 sintetiza os principais domínios de dados envolvidos no processo de simulação computacional integrada ao BIM, mostrando a relação entre condições climáticas, geometria da edificação, sistemas prediais, cargas internas, parâmetros de simulação e resultados de desempenho. Essa organização reforça o caráter sistêmico e multidisciplinar da simulação paramétrica discutida no texto, na qual a integração consistente desses dados é necessária para a confiabilidade das análises de desempenho ao longo do ciclo de vida da edificação [3] e [4]. Essas bibliotecas evoluíram para portais que garantem a interoperabilidade via formatos abertos como o IFC e o gbXML.

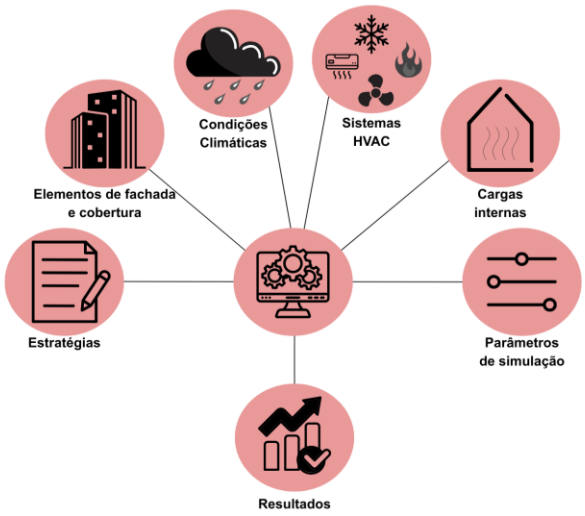


Figura 1: Dados de entrada necessários para a simulação computacional
Fonte: Adaptado de *Instituto Politécnico de Bragança, 2024.* [17]

A Tabela 1 apresenta algumas das principais plataformas que disponibilizam bibliotecas de objetos BIM voltadas à análise de desempenho e conforto ambiental em edificações. Essas plataformas diferenciam-se quanto ao escopo de aplicação, ao tipo de conforto priorizado e ao nível de informação incorporado aos objetos, variando desde bases globais com dados fornecidos por fabricantes até iniciativas nacionais alinhadas a normas técnicas brasileiras. De modo geral, as bibliotecas dessas plataformas abordadas na tabela 1 convergem na tentativa de ampliar a capacidade do BIM de subsidiar simulações de desempenho ambiental. Plataformas de caráter global, como bibliotecas multidisciplinares, com uma grande quantidade de objetos disponibilizados e pela integração direta com fabricantes, oferecem parâmetros relacionados ao desempenho energético, facilitam a inserção de dados nas simulações computacionais e contribuem para avaliações preliminares de conforto ambiental (ISO, 2018; ASHRAE, 2019) [4]; [13]. Por outro lado, as iniciativas nacionais, como bibliotecas alinhadas às normas brasileiras, apresentam como principal contribuição a adequação dos objetos às exigências regulatórias locais, especialmente no que se refere ao desempenho térmico conforme a NBR 15575 (2021) [15].

Por fim, as bibliotecas voltadas à pesquisa e à eficiência energética, bem como aquelas desenvolvidas diretamente por fabricantes de sistemas de sombreamento e iluminação disponibilizam objetos com dados voltados a *softwares* de análise energética e luminosa, além de plugins integrados aos ambientes autorais e ampliam o potencial de avaliação do conforto ambiental ainda nas fases iniciais de projeto. Entretanto, o estado da arte indica que persiste uma fragmentação entre plataformas globais, normativas e de pesquisa, demonstrando a necessidade de bibliotecas de objetos BIM mais integradas, padronizadas e orientadas simultaneamente ao conforto térmico e luminoso, conforme proposto no escopo deste artigo.

Plataforma	Informação incorporada	Características Principais
BIMobject **Link:** *https://www.bimobject.com/pt-br*	Global / Multidisciplinar	A maior do mundo. Reúne objetos BIM de fabricantes com informações de desempenho, como fator solar, propriedades térmicas e isolamento acústico, permitindo sua utilização direta em simulações energéticas e ambientais.
Plataforma BIM BR **Link:** *https://plataformabimbr.abdi.com.br/*	Nacional (Brasil)	Iniciativa do Governo Federal, que disponibiliza objetos alinhados às normas brasileiras (NBR 15575), facilitando análises de desempenho térmico compatíveis com o contexto climático e regulatório local.
Mobiliário de Fabricantes Variável	Específico	Fabricantes de proteção solar (brises, persianas) e iluminação fornecem plugins que permitem simular a eficácia do sombreamento e da luz no próprio software autoral.
BIM-SPEED Database **Link:** https://bimspeedlibrary.com/	Pesquisa / Eficiência	Base desenvolvida em contexto de pesquisa, com foco em *retrofit* e renovação energética, oferecendo objetos BIM estruturados com parâmetros informativos gerais e parâmetros compatíveis com softwares de simulação energética.
NBS Source **Link:** https://www.thenbs.com/	Global	Biblioteca associada a sistemas de especificação técnica, com objetos BIM estruturados e informações de desempenho, amplamente utilizada em projetos no contexto europeu.
BIMsmith **Link:** *https://bimsmith.com/*	Global	Plataforma que reúne objetos BIM de fabricantes com foco em especificação e desempenho, integrando informações técnicas que podem subsidiar análises preliminares de conforto ambiental.
BIM&CO **Link:** *https://www.bimandco.com/bim/pt/*	Global	Plataforma colaborativa que organiza objetos BIM com informações técnicas padronizadas, permitindo seu uso em diferentes etapas do projeto e em análises de desempenho.
Archweb **Link:** *archweb.com/en/*	Global	Base europeia de objetos BIM de fabricantes, com informações técnicas e construtivas aplicáveis a análises de desempenho e conforto em edificações.

Tabela 1: Plataformas de bibliotecas BIM para avaliação de conforto ambiental
Fonte: Autores, 2026.

A Tabela 2 compara os trabalhos relatados nos artigos abordados no Scopus [7]. Entre os trabalhos analisados revela-se que, embora plataformas globais, normativas e de pesquisa

avancem na disponibilização de objetos voltados à simulação de desempenho, ainda persiste uma fragmentação entre dados físicos, normativos e operacionais. Tal cenário reforça a necessidade de bibliotecas BIM mais integradas e padronizadas, alinhadas aos princípios de gestão da informação estabelecidos pela ISO 19650 [4]. Com base na análise do estado da arte, propõe-se uma estrutura para o desenvolvimento de bibliotecas de objetos BIM orientadas ao desempenho ambiental, organizada em três níveis: Parâmetros geométricos (Dimensões, orientação, área e volumetria dos elementos construtivos); Parâmetros físicos (Transmitância térmica, capacidade térmica, absortância e fator solar) e Parâmetros operacionais (Perfis de ocupação, cargas internas, sistemas de iluminação e HVAC).

Eixo Temático	**Contribuições Identificadas na Literatura**	**Implicações para Bibliotecas de Objetos BIM**
BIM e eficiência energética	O BIM é amplamente utilizado como plataforma integradora para análises térmicas, energéticas e ambientais, apoiando decisões de projeto mais eficientes	Necessidade de objetos BIM com propriedades térmicas e energéticas confiáveis e padronizadas
Automação, IA e sistemas inteligentes	Uso crescente de automação, robótica e algoritmos de aprendizado de máquina para otimização do conforto térmico e do consumo energético	Demanda por objetos BIM inteligentes, paramétricos e compatíveis com sistemas preditivos
Conforto térmico e envoltória	A envoltória do edifício é tratada como elemento-chave para o desempenho térmico, com análises comparativas de soluções construtivas	Importância de bibliotecas BIM de envelope com dados físicos e térmicos detalhados
Conforto luminoso e iluminação natural	Estudos destacam a otimização da iluminação natural, especialmente em edifícios educacionais e bibliotecas	Necessidade de objetos BIM com propriedades ópticas, geométricas e de controle solar
Interoperabilidade e *openBIM*	Ênfase no uso de IFC, *openBIM* e fluxos automatizados para simulação energética desde as fases iniciais de projeto	Bibliotecas BIM devem ser interoperáveis, abertas e compatíveis com diferentes motores de simulação
Bibliotecas e edifícios educacionais	Bibliotecas aparecem como tipologia recorrente para avaliação de conforto térmico e energético	Relevância de bibliotecas BIM específicas para tipologias educacionais
Desenvolvimento de bibliotecas BIM	Avanços no desenvolvimento de bibliotecas físicas e digitais voltadas à simulação térmica	Consolida a biblioteca de objetos BIM como elemento central para avaliação de desempenho ambiental

Tabela 2: Contribuições da literatura e implicações para bibliotecas voltadas ao desempenho ambiental. Fonte: Autores, 2026.

Pesquisas de Volk, Stengel e Schultmann (2014) [18] e Abanda et al. (2016) [19] demonstram que a integração entre modelos BIM e ferramentas de simulação energética gera consistência na avaliação do desempenho térmico ao longo do ciclo de vida da edificação. Trabalhos mais recentes, como os de Santos [20] e Antón e Díaz [21], destacam que a confiabilidade dessas análises depende da qualidade e da padronização das informações incorporadas aos objetos BIM, especialmente propriedades termofísicas e parâmetros de uso.

No eixo que a literatura atribui à envoltória do edifício um papel determinante no desempenho térmico global [22], as trocas energéticas entre o ambiente externo e interno são mediadas por seus materiais, camadas construtivas e dispositivos de controle solar. A ausência ou simplificação desses dados nas bibliotecas limita a capacidade preditiva dos modelos, configurando uma lacuna recorrente apontada pela literatura [23] e [24].

Os avanços associados à automação, inteligência artificial e sistemas inteligentes ampliam a complexidade das simulações ao incorporar cargas térmicas internas, sistemas de iluminação, equipamentos e a performance operacional do HVAC, todos condicionados a perfis de ocupação estocásticos e estratégias de automação predial [16] e [13]. A biblioteca de objetos BIM passa a demandar informações operacionais e comportamentais, mostrando a transição de bibliotecas estáticas para bibliotecas BIM inteligentes e paramétricas [25]. Os eixos da interoperabilidade e do desenvolvimento de bibliotecas BIM apontam que a avaliação de conforto ambiental está diretamente associada à capacidade de interoperar modelos BIM, por meio de padrões abertos como o IFC e fluxos automatizados de conversão de dados [23].

Embora existam avanços significativos na integração entre BIM e simulação de desempenho, persiste uma lacuna quanto à consolidação de bibliotecas de objetos BIM especificamente estruturadas para a avaliação integrada do conforto térmico e luminoso. Essa lacuna justifica a relevância deste estudo, ao evidenciar a biblioteca de objetos BIM como elemento-chave para a precisão, interoperabilidade e confiabilidade das simulações computacionais aplicadas ao desempenho ambiental das edificações.

4. Desafios da implementação de bibliotecas BIM e de estudos voltados para o tema

Há desafios importantes a serem vencidos na implementação de bibliotecas de objetos BIM para a análise de desempenho em edificações. O mais importante deles é que a fragmentação de dados entre *softwares* de modelagem e de simulação energética pode ser mitigada pela criação de bibliotecas parametrizadas, embutindo propriedades termofísicas (transmitância, absortância) diretamente nos objetos, o que reduzirá a perda de informação na transição entre o modelo geométrico e o de análise energética (*Building Energy Model*).

Outro desafio recorrente identificado na literatura diz respeito à padronização e à confiabilidade das informações incorporadas aos objetos BIM, especialmente quando estes são utilizados como dados de entrada para simulações de desempenho térmico e energético. Estudos apontam que a ausência de diretrizes claras quanto ao nível de informação necessário, bem como a inconsistência entre dados fornecidos por fabricantes, pesquisadores e plataformas institucionais, compromete a interoperabilidade e a reprodutibilidade das análises [24]; [25].

Além disso, a literatura destaca a dificuldade de alinhar bibliotecas de objetos BIM às normas técnicas e aos padrões de troca de informação, como IFC (e *openBIM* em geral), o que limita sua aplicação integrada em diferentes motores de simulação e reforça a necessidade de gestão da informação compatíveis com a ISO 19650 [4] e [23].

5. Conclusões

Esta revisão teve como objetivo identificar e discutir tópicos emergentes no estado da arte de biblioteca de objetos BIM para a avaliação de conforto térmico e luminoso em edificações. Desse modo, perspectivas e desafios na implementação de tais métodos e tecnologias foram levantados e analisados. Entre eles:
A digitalização de catálogos baseada em normas ABNT NBR 15220 e a ABNT NBR 15575 [14] e [15], transforma o objeto BIM em um "agente normativo". Isso significa que o projetista não precisa buscar dados externos; o componente já carrega o desempenho técnico necessário para validar a conformidade térmica e luminosa da edificação.
A análise do estado da arte evidencia uma liderança da Coreia do Sul, o que pode servir de exemplo para que países de língua portuguesa possam avançar ao adotar estratégias semelhantes: foco no desenvolvimento de bibliotecas (como a Plataforma BIM BR) e a integração de dados climáticos locais (arquivos EPW) diretamente nos processos de modelagem. Conclui-se que a criação de bibliotecas para objetos BIM, voltada para componentes de parametrização específicos do conforto térmico e luminoso, é um meio importante para atingir as metas de eficiência energética e redução de impacto ambiental no setor da construção civil, elevando o BIM ao status de ferramenta estratégica de gestão ambiental.

Referências

[1] Conselho Internacional da Construção (CIB), Agenda 21 para a Construção Sustentável: Relatório do CIB, trad. V. Agopyan. São Paulo, Brasil: Universidade de São Paulo (USP), 2000.
[2] Brasil, Ministério de Minas e Energia, Atlas da Eficiência Energética Brasil 2021: Ano Base 2020. Rio de Janeiro, Brasil: Empresa de Pesquisa Energética (EPE), 2021. [Online]. Disponível: https://www.epe.gov.br. Acesso em: 13 jan. 2026.
[3] C. Eastman, P. Teicholz, R. Sacks e K. Liston, BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors, 2nd ed. Hoboken, NJ, USA: Wiley, 2011.
[4] International Organization for Standardization, ISO 19650-1: Organization and Digitization of Information about Buildings and Civil Engineering Works. Geneva, Switzerland, 2018.
[5] V. Bazjanac e A. Kiviniemi, “Reduction of error-prone data transfers between BIM and energy analysis tools,” Automation in Construction, vol. 16, no. 4, pp. 431–439, 2007, doi: 10.1016/j.autcon.2006.10.003.
[6] J. K. W. Wong e J. Zhou, “Enhancing environmental sustainability over building life cycles through green BIM: A review,” Automation in Construction, vol. 57, pp. 156–165, 2015, doi: 10.1016/j.autcon.2015.06.003.
[7] Elsevier, Scopus Database. Amsterdã, Países Baixos, 2026. [Online]. Disponível: https://www.scopus.com. Acesso em: 13 jan. 2026.
[8] S. Azhar, “Building Information Modeling (BIM): Trends, benefits, risks, and challenges for the AEC industry,” Leadership and Management in Engineering, vol. 11, no. 3, pp. 241–252, 2011, doi: 10.1061/(ASCE)LM.1943-5630.0000127.
[9] ISO, "EN ISO 52016-1:2017 Energy performance of buildings — Energy needs for heating and cooling, internal temperatures and sensible and latent heat loads — Part 1: Calculation procedures," International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, 2017.

[10] ASHRAE, "ANSI/ASHRAE Standard 90.1-2019: Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings," American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Atlanta, GA, USA, 2019.
[11] ASHRAE, "ANSI/ASHRAE Standard 55-2020: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy," American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Atlanta, GA, USA, 2020.
[12] D. B. Crawley, L. K. Lawrie, F. C. Winkelmann, W. F. Buhl, Y. J. Huang, C. O. Pedersen, R. K. Strand, R. J. Liesen, D. E. Fisher, M. J. Witte e J. Glazer, "EnergyPlus: creating a new-generation building energy simulation program," Energy and Buildings, vol. 33, no. 4, pp. 319–331, 2001, doi: 10.1016/S0378-7788(00)00114-6.
[13] ASHRAE, ASHRAE Handbook — HVAC Applications. Atlanta, GA, USA, 2019.
[14] Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 15220: Desempenho Térmico de Edificações. Rio de Janeiro, Brasil, 2005.
[15] Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 15575: Edificações Habitacionais — Desempenho. Rio de Janeiro, Brasil, 2021.
[16] T. Hong, S. H. Lee, J. Kim, K. Jeong e C. Koo, "A review on simulation-based methods for building energy performance analysis," Energy and Buildings, vol. 102, pp. 388–401, 2015, doi: 10.1016/j.enbuild.2015.06.039.
[17] CAVALHEIRO, Erika Krawczyk. O BIM e a eficiência energética de edifícios habitacionais. 2023. 106 f. Dissertação (Mestrado em Construção Sustentável) — Instituto Politécnico de Bragança, Bragança, 2023. Disponível em: ipb.pt. Acesso em: 28 abr. 2024.
[18] R. Volk, J. Stengel e F. Schultmann, "Building Information Modeling for existing buildings," Automation in Construction, vol. 38, pp. 109–127, 2014.
[19] F. H. Abanda et al., "BIM for energy performance assessment," Energy and Buildings, vol. 113, pp. 89–99, 2016.
[20] E. T. Santos e R. V. G. Souza, Guia BIM 05: BIM e Eficiência Energética. Florianópolis, Brasil: LabEEE/UFSC, 2017. [Online]. Disponível: https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/documents/guia%20bim05_20171002_web.pdf. Acesso em: 13 jan. 2026.
[21] L. A. Antón e J. Díaz, "BIM-based energy simulation in early design stages," Sustainability, vol. 12, no. 2, 2020.
[22] F. Ascione et al., "Building envelope design for thermal comfort," Energy and Buildings, vol. 213, 2020.
[23] B. Soust-Verdaguer et al., "BIM-based life cycle assessment and energy simulation," Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 124, 2020.
[24] Q. Lu et al., "Information management and BIM object libraries," Automation in Construction, vol. 135, 2022.
[25] M. Abdelrahman et al., "Smart BIM objects for building performance simulation," Journal of Building Engineering, vol. 82, 2024

12345

SCIE EM OPENBIM: DO REGULAMENTO AO MODELO BIM VERIFICÁVEL

Jéssica Reis, Pedro Oliveira, Rui Gavina, Daniel Afonso, José Rocha

Tomás Jorge, Jorge Magalhães, Diogo Ribeiro

ptBIM

SCIE EM OPENBIM: DO REGULAMENTO AO MODELO BIM VERIFICÁVEL

Jéssica Reis [(1)], Pedro Oliveira [(1)], Rui Gavina [(1,3)], Daniel Afonso [(2),] José Rocha [(2)]
Tomás Jorge [(3)], Jorge Magalhães [(3)], Diogo Ribeiro [(3,4)]

(1) Vn2R - Engineering Innovation Consulting, LdA., Porto, Portugal
(2) Exactusensu - Consultores Associados, Lda., Porto, Portugal
(3) iBuilt, Instituto Superior de Engenharia do Porto, Porto, Portugal
(4) CONSTRUCT - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal

Resumo
A implementação de *Automated Compliance Checking* (ACC) em Segurança Contra Incêndios em Edifícios (SCIE) requer a transformação do raciocínio técnico e normativo em estruturas lógicas aptas a interpretação automática por máquinas. No projeto europeu ITEA4 FireBIM, está a ser desenvolvida uma metodologia com o intuito de traduzir regulamentos de SCIE em modelos processáveis, suportando verificação de conformidade em ambiente *Building Information Modelling* (BIM).
A abordagem incide sobre a verificação regulamentar dos critérios de compartimentação, etapa determinante nas fases iniciais de projeto, devido ao impacto direto na organização espacial e viabilidade das soluções de arquitetura. A metodologia proposta estrutura o texto dos regulamentos em caminhos de decisão e mapas de processo, explicitando critérios, variáveis, exceções e condições de aplicabilidade. Esta formalização reduz ambiguidade interpretativa e estabelece a base para criação de *machine-readable rules*, essenciais ao ACC.
Como consequência direta desta modelação lógica, são identificados requisitos de informação necessários à verificação da compartimentação em BIM, mapeando objetos, propriedades e atributos relevantes para formato *Industry Foundation Classes* (IFC). Para além disso, este mapeamento permite a articulação com mecanismos *openBIM* como *Information Delivery Specification* (IDS) e *buildingSMART Data Dictionary* (bSDD).
Os resultados demonstram a viabilidade da transformação de regulamentos SCIE em lógica formal de decisão e respetivos requisitos de informação, evidenciando um caminho objetivo para a verificação automática de conformidade em fases preliminares de projeto e para a aproximação efetiva entre regulamentação técnica e modelos BIM.

1. Introdução

A digitalização do setor Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação (AECO) tem impulsionado a verificação automática dos regulamentos através de modelos *Building Information Modelling* (BIM). No âmbito do Projeto ITEA4 FireBIM, este trabalho analisa a

tradução dos regulamentos nacionais de Segurança Contra Incêndios em Edifícios (SCIE) para formatos passíveis de verificação automática, identificando as limitações inerentes à tradução totalmente automática de texto regulamentar. Como resposta, propõe-se o uso de ferramentas visuais, em complementaridade com uma base de dados semântica, que estruturam o processo, incorporando regras claras de representação [1] [2].
Posteriormente, define-se o conjunto de Requisitos de Informação necessários à verificação automática. Para assegurar independência conceptual face ao esquema *Industry Foundation Classes* (IFC) [3], os conceitos de SCIE são inicialmente organizados numa camada semântica própria e formalizados numa ontologia, que funciona como modelo de referência para relações e requisitos. Por fim, procede-se ao mapeamento entre a ontologia e o IFC, permitindo articular a estrutura conceptual regulamentar com o modelo de dados *openBIM*. No contexto português, a aplicabilidade imediata deste tipo de abordagem, centra-se sobretudo no apoio a projetistas [4].

2. Contextualização: O Projeto Europeu ITEA4 FireBIM

O documento insere-se no âmbito do projeto internacional ITEA4 22003 FireBIM, que congrega 22 parceiros provenientes dos países europeus, Bélgica, Dinamarca, Lituânia, Países Baixos e Portugal. O consórcio integra entidades com perfis complementares, incluindo gabinetes de arquitetura, empresas de construção, consultores, especialistas em SCIE, especialistas em BIM, empresas de desenvolvimento de *software* e instituições académicas. Esta diversidade assegura uma abordagem multidisciplinar e colaborativa ao desenvolvimento de soluções digitais aplicadas à segurança contra incêndios.
O projeto tem como principal objetivo desenvolver uma plataforma BIM, *open source*, destinada a integrar mecanismos automáticos de avaliação da segurança contra incêndios em edifícios, apoiando as equipas de projeto na tomada de decisão. O FireBIM visa harmonizar, estruturar e comunicar de forma aberta os requisitos regulamentares de segurança contra incêndios dos países participantes, promovendo uma interpretação partilhada e sistematizada das disposições legais. Ao facilitar a interpretação da documentação normativa de SCIE e ao incorporar ferramentas digitais de verificação, o projeto contribui para o desenvolvimento de edifícios mais seguros e eficientes economicamente, reforçando simultaneamente a colaboração interdisciplinar no contexto europeu.

3. Metodologia de Digitalização Regulamentar: Do Texto ao fluxograma lógico

A SCIE é regulada em Portugal pelo Decreto-Lei n.º 220/2008 [5], alterado pela Lei n.º 123/2019 [6], e pela Portaria n.º 1532/2008 [7], na redação da Portaria n.º 135/2020 [4]. Os documentos definem regras técnicas e requisitos para os edifícios, assumindo um papel determinante na compartimentação corta-fogo, devido à sua interligação com arquitetura, estrutura e instalações.
A tradução das normas em fluxogramas lógicos e modelos visuais permite um acesso mais rápido e simples aos requisitos, facilitando a sua compreensão e inerente verificação.

3.1 Limitações do Processamento Automático

A interpretação dos regulamentos é uma das etapas mais relevantes e complexas do processo de criar verificações automáticas [8], [9]. De facto, a interpretação de regras com recurso a *Large Language Models* (LLMs) enfrenta desafios devido à complexidade e à forma como a informação é estruturada nos textos dos regulamentos [10]. Entre as principais limitações destacam-se:

- Fragmentação da informação: Regulamentos com tabelas em páginas diferentes, dificultando a conversão automática.
- Ambiguidade linguística: Os regulamentos não seguem uma estrutura sintática padronizada, alternando constantemente a construção das frases e criando uma densidade que desafia o próprio entendimento humano que frequentemente encontra dificuldades de interpretação. Perante textos sintaticamente complexos, verificou-se que os LLMs reproduziam resultados ambíguos. Esta dificuldade é corroborada por [10], que nota que, embora os resultados de processamento de linguagem natural (*Natural Language Processing* - NLP) de regulamentos pareçam promissores, a maioria dos casos de estudo apresentados baseia-se em regulamentos comparativamente simples e bem definidos, o que contrasta com a complexidade real dos regulamentos nacionais.
- Barreira entre o conhecimento tecnológico e o domínio técnico da SCIE: Verifica-se a existência de barreiras entre os especialistas em digitalização/Inteligência Artificial (IA) e os peritos em SCIE, resultando em interpretações feitas por LLMs que, embora podendo ser corretas, os peritos de SCIE não conseguem validar, podendo ser tecnicamente imprecisas.
- Omissões de definições: A ausência de definições explícitas para termos fundamentais [11], como a indefinição de "área máxima" relativa à compartimentação no Art.º 18.º da Portaria n. º 135/2020 [4], exige uma interpretação subjetiva.
- Conhecimento tácito: Existe conhecimento aplicado com base em consensos da comunidade de especialistas [11]. Por exemplo, no Art.º 18.º da Portaria n.º 135/2020 [4], o termo "Área" é assumido como "Área Bruta", sem que essa decisão esteja formalizada.
- Ambiguidade e inconsistência de terminologia: A falta de harmonização terminológica manifesta-se tanto na estrutura interna dos regulamentos como na sua tradução para padrões internacionais. Um exemplo crítico é o conceito de "Ocupação-Tipo", cuja tradução pode corresponder a "*Use Type*" ou "*Occupancy Type*".
- Limitações de Acessibilidade Digital: A dependência de informação crítica depositada em tabelas e diagramas, sem acompanhamento textual estruturado, dificulta o processamento automático de dados.

Assim, surgiu a necessidade de organizar o conteúdo técnico de forma clara, compreensível para humanos e simultaneamente interpretável por máquinas, por meio da criação de uma base de dados semântica preliminar no *Notion* e da modelação visual no *Miro*. As ferramentas utilizadas constituem suportes operacionais da metodologia, sendo independentes da estrutura conceptual definida. A abordagem proposta baseia-se numa separação clara entre a representação conceptual regulamentar e os ambientes de trabalho utilizados para a sua modelação, permitindo a sua implementação em diferentes plataformas.

3.2 Estratégias de Modelação Lógica e Visual

A base de dados no *Notion* constitui uma etapa estruturante da metodologia, uma vez que permite a organização semântica dos conceitos do regulamento de SCIE por domínio, com foco na Compartimentação, antes da sua tradução para fluxogramas. Para cada termo, estão registados a definição, a origem, a referência normativa, o tipo de dado e domínio de valor e ainda as relações com outros termos, tal como apresentado na Figura 1. Esta distinção garante não só transparência na interpretação, mas também rastreabilidade das decisões.

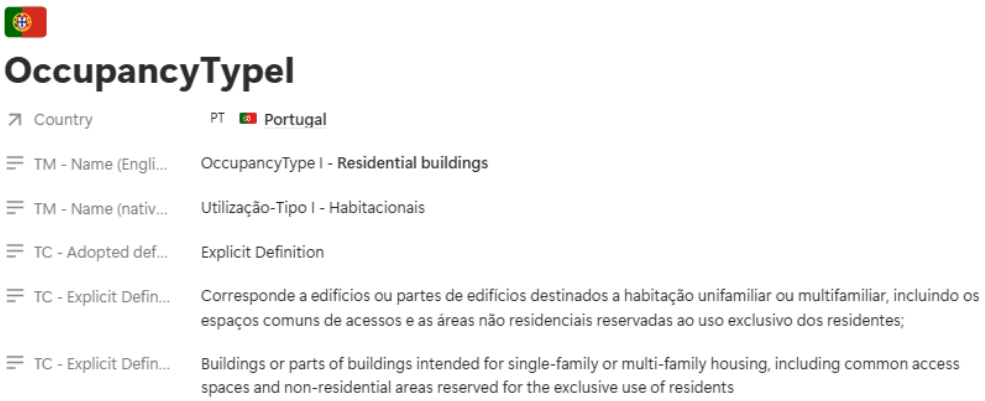


Figura 1: Definição semântica do termo Utilização-Tipo I

Contudo, verificou-se a utilização da base de dados semântica no *Notion* insuficiente para representar a complexidade do texto regulamentar, caracterizado por regras condicionais, interdependências e exceções. Para ultrapassar essa limitação, a metodologia evoluiu para uma modelação lógica visual baseada em fluxogramas de decisão, permitindo transpor o texto para algoritmos processáveis. Assim, a base de dados no *Notion* funciona como base de dados semântica estruturada, que sustenta a modelação gráfica e alinhamento entre regulamento, representação visual e futura formalização computacional.

Com a base semântica previamente estabelecida, estruturaram-se os diagramas orientados para as decisões regulamentares de SCIE. Para tal, foi adotada uma estratégia de subdivisão dos diagramas, de modo a evitar diagramas excessivamente complexos.

A construção dos fluxogramas inicia-se a partir de um diagrama de alto nível (Figura 2). Sempre que uma decisão ou valor depende de outro parâmetro, que justifique ter um fluxograma dedicado, é criado um fluxograma separado dedicado à determinação dessa propriedade. Este método de subdivisão hierárquica permite decompor processos complexos em unidades discretas, facilitando a compreensão.

Cada quadro (*frame*) do fluxograma possui uma função específica, identificada pela cor de fundo, de modo a distinguir os fluxogramas pelas suas respetivas cores. A hierarquia adotada organiza-se de forma progressiva, ou seja, SET 2 apresenta o fluxograma principal, SET 2.1 detalha sub-fluxogramas de decisões específicas e SET 2.1.1 subdivide decisões em sub-sub-fluxogramas. A conexão entre fluxogramas é realizada por meio de *Miro Links*, que permitem cruzar entre os diferentes níveis da hierarquia, visualizando as relações entre decisões e parâmetros dependentes.

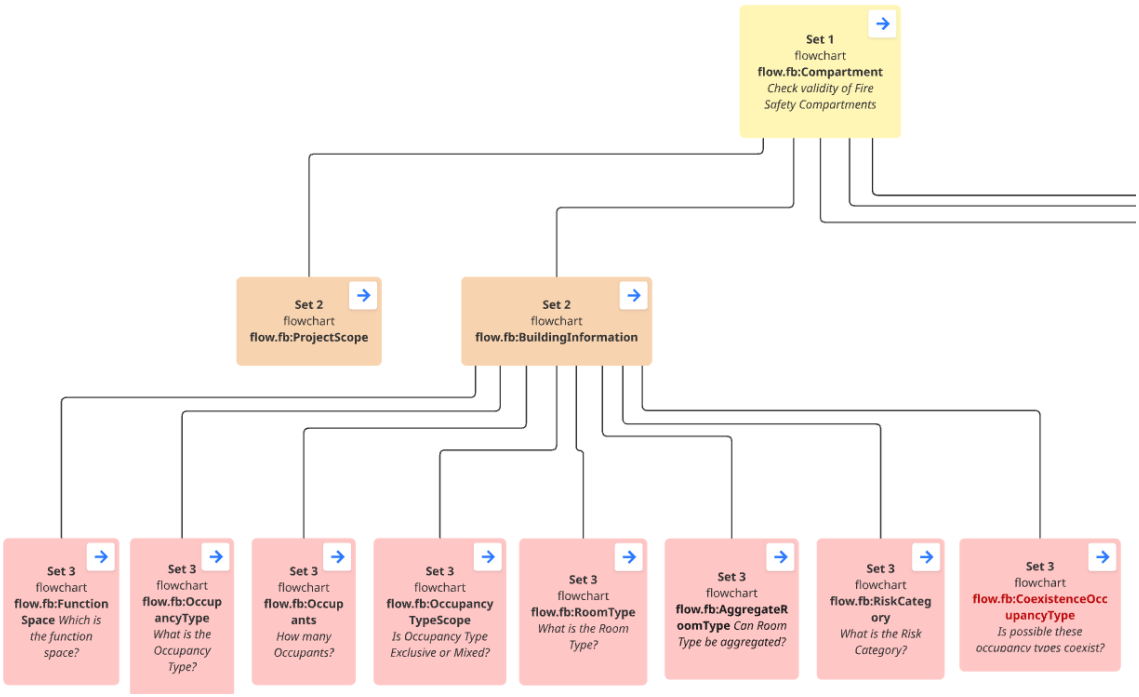


Figura 2: Excerto de "Relação hierárquica entre fluxogramas"

Na modelação visual do regulamento de SCIE, cada objeto (*shape*) assume uma função específica dentro do fluxograma (Figura 3), permitindo que decisões, processos e informações complementares (como a origem regulamentar) sejam distinguidos de forma inequívoca. Esta padronização facilita a interpretação tanto por técnicos quanto por sistemas automatizados de verificação. Entre os objetos identificados em *template*, destacam-se os seguintes:

- Retângulos com bordas redondas - delimitam o início ou fim do fluxo (*Output*).
- Retângulos - representam processos ou ações a serem executadas, para avançar no fluxograma.
- Losangos - indicam decisões condicionais, onde o fluxo segue caminhos alternativos dependendo do resultado de uma avaliação.

Tal como referido anteriormente, o conteúdo de cada objeto mantém referências semânticas à base de dados, garantindo que os termos utilizados nos fluxogramas correspondam a definições previamente estruturadas, como representado na Figura 4 "*Is fb:OccupancyTypeI?*". O prefixo "fb:" significa "FireBIM" e identifica que o conceito está devidamente definido na base de dados.

Shape/Arrow	Type of shape/arrow	Meaning	Type of data	Example	Important aspects
round rectangle	Round Rectangle	Start (First node)	Start + "name of flowchart"	*Start flow-fb:ProjectScope*	Is the first node of each flowchart
rhombus	Rhombus	Decisions	query short, binary (when possible)	*Are there* ***fb:IndependentBuilding?***	To represent decisions: preferentially yes/no
Document	Document	Document	name of document + article + alinea if applicable	*RJSCIE fb:article 3 fb:alinea 2*	Identify articles or fire expert knowledge
rectangle	Rectangle	Actions	Verb ("order") + (...) minimize words	*Select a* ***fb:Building***	To represent processes

Figura 3: Excerto da base de dados - objetos do fluxograma e significado

A escrita do termo é mantida uniforme entre as plataformas, garantindo correspondência entre a base de dados e a representação gráfica. Adicionalmente, cada ocorrência do termo no fluxograma inclui o link direto para a respetiva entrada no Notion (Figura 1), permitindo aceder à definição e a eventuais comentários auxiliares do projetista. Por objeto, indica-se a sua origem regulamentar (Figura 4) ou identificados como pressupostos técnicos assumidos pelo especialista (fire expert interpretation), assegurando a rastreabilidade total de cada decisão de projeto.

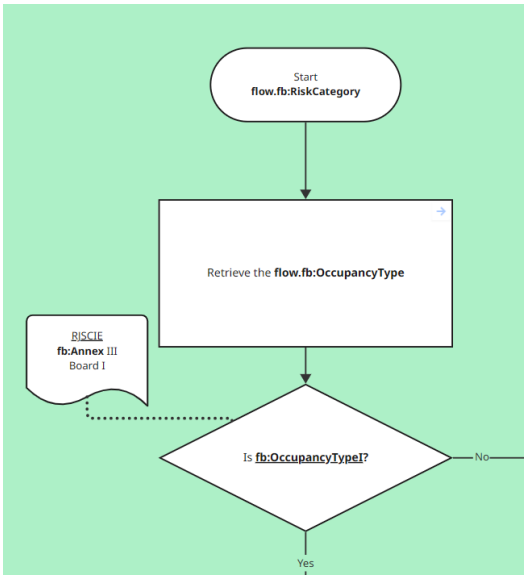


Figura 4: Excerto do fluxograma *flow.fb:RiskCategory "What is the Risk Category?*

A manutenção da estratégia perante atualizações legislativas é assegurada pela indexação detalhada no *Miro* e *Notion*, onde cada objeto indica o regulamento, artigo e alínea correspondente. Esta organização permite localizar e atualizar rapidamente qualquer alteração normativa ou ajuste num pressuposto técnico, garantindo que a representação gráfica e a base

de dados permanecem válidas. Por outro lado, a natureza das alterações nos regulamentos de SCIE, que tendem a ser pontuais e incrementais em vez de estruturais ou drásticas, facilita a continuidade deste processo. A reutilização deste processo noutros regulamentos exige avaliação caso a caso, mas beneficia da separação entre a camada semântica, lógica de decisão e requisitos *openBIM*.

4. Requisitos de informação

A verificação automática de conformidade (*Automated Compliance Checking* - ACC) depende da existência, estrutura e monitorização da informação no modelo BIM. No FireBIM, esta etapa corresponde à tradução da lógica regulamentar (fluxos de decisão) em requisitos de informação verificáveis (Figura 5), isto é, definir quais as propriedades exigidas, em que condições e com que tipo de valores. Esta abordagem está alinhada com o âmbito do projeto, que inclui a definição de necessidades e requisitos de informação, bem como a respetiva contribuição para a interoperabilidade aplicada à análise de SCIE. Os requisitos definidos podem ser enquadrados no conceito de Level of Information Need (BS EN ISO 7817-1) [12], sendo aqui operacionalizados através de requisitos IDS por entidade e propriedade, dependentes do objetivo de verificação.
Neste projeto, a ontologia funciona como modelo semântico de referência para os conceitos e requisitos de SCIE, enquanto o IFC constitui um esquema de dados aberto que permite representar de forma estruturada a informação do projeto e suportar a sua troca entre diferentes sistemas. De forma a evitar que a formalização regulamentar fique condicionada pelo esquema IFC, os *Fire Experts* precisaram de estabelecer, primeiro, os termos numa camada semântica (*Notion*) e estes são formalizados numa ontologia. Em seguida, define-se um processo de mapeamento conceptual em duas direções: da ontologia para o esquema IFC, permitindo especificar requisitos de informação, e do IFC para a ontologia, permitindo interpretar os dados dos modelos BIM no contexto regulamentar.



Figura 5: Representação da abordagem de obtenção de requisitos de informação para o enriquecimento do modelo BIM

4.1. Mapeamento e Alinhamento com o esquema IFC

Com base nos fluxogramas, cada termo relevante é tratado como uma entidade semântica a representar no modelo. O objetivo do mapeamento é garantir que cada conceito regulamentar possui, no mínimo, uma correspondência explícita possível no esquema IFC [3], [13]. Para isso, recorre-se, conforme adequado, a entidades IFC (nomeadamente elementos construtivos e elementos espaciais), atributos nativos, propriedades e respetivos conjuntos de propriedades (*Pset*) e ainda classificações ou dicionários externos. O alinhamento com IFC é crítico para assegurar interoperabilidade e validação transversal com ferramentas *openBIM*. Apesar da existência do ifcOWL[14], nesta fase foi privilegiado um mapeamento IFC direto orientado a IDS e a convenções de modelação.

Operacionalmente, o mapeamento foi estruturado em tabelas por cada um dos fluxogramas, tal como exemplificado na Figura 6, em que cada linha representa uma necessidade de informação e explicita a classe IFC alvo, a propriedade e respetiva *Pset*, o tipo de dado esperado (booleano, numérico, enumeração ou texto) e, quando aplicável, valores admissíveis para preenchimento. De forma a acomodar variações de modelação, sem impor uma estratégia única, a tabela é composta por uma coluna de opções alternativas, admitindo múltiplas opções por linha (várias classes IFC e/ou várias propriedades), mantendo, contudo, o mesmo significado normativo.

Finalmente, com o intuito de reduzir ambiguidade terminológica e reforçar consistência entre países, os conceitos podem ser associados a identificadores semânticos normalizados, nomeadamente através do *buildingSMART Data Dictionary* (bSDD) [11], permitindo estabelecer correspondências entre os conceitos regulamentares definidos na ontologia e definições normalizadas internacionalmente.

Flowchart	Decisions in Flowcharts	IFC	IFC property	Advantages/ Disadvantages	Alternative IFC properties	IDS requirements
flow.fb:RiskCategory	Retrieve the **flow.fb:OccupancyType**	IfcSpace &/or IfcSpatialZone	OccupancyType (Pset_SpaceOccupancyRequirements)	The **property** already exist & is applied to a Space: -Occupancy type for this object. It is defined according to the presiding national building code.	-	MUST contain IFCclass **IFCSPACE** &/or MUST contain IFCclass **IFCSPATIALZONE** & MUST HAVE property **OccupancyType** of Pset **Pset_SpaceOccupancyRequirements (IFCLABEL)**
	Is **fb:OccupancyType**?	IfcSpace &/or IfcSpatialZone	OccupancyType (Pset_SpaceOccupancyRequirements)	The **property** already exist & is applied to a Space: -Occupancy type for this object. It is defined according to the presiding national building code.	-	MUST contain IFCclass **IFCSPACE** &/or MUST contain IFCclass **IFCSPATIALZONE** & MUST HAVE property **OccupancyType** of Pset **Pset_SpaceOccupancyRequirements (IFCLABEL)**

Figura 6: Excerto da tabela de mapeamento do fluxograma *flow.fb:RiskCategory "What is the Risk Category?"*

4.2. Especificação de Requisitos

Enquanto o mapeamento IFC define como os conceitos regulamentares podem ser representados no modelo, a *Information Delivery Specification* (IDS) permite declarar formalmente os requisitos de informação necessários para a verificação automática. A IDS é um *standard buildingSMART*, representado em XML, que define os requisitos sobre classes,

propriedades, classificações, valores e unidades, acordo com as condições de aplicabilidade [15].
No trabalho desenvolvido, a IDS é usada como ponte operacional entre o raciocínio regulamentar e a verificação automática, ou seja, cada conjunto de requisitos identificado nas tabelas de mapeamento é traduzido para uma ou mais especificações IDS [16], combinando:

- *Applicability*: seleção do subconjunto de elementos IFC a que a regra se aplica (por exemplo por classe/tipo/classificação);
- *Requirements*: propriedades/atributos obrigatórios e restrições de valor (por exemplo presença, intervalo, enumeração, padrão).

5. Conclusão

Este artigo apresentou uma abordagem prática com o objetivo de transformar regulamentos nacionais de SCIE, com particular foco na compartimentação, em representações suscetíveis de verificação automática em ambiente BIM. A metodologia combina uma camada semântica para estabilização e rastreabilidade de termos com uma modelação lógica visual baseada em fluxogramas hierárquicos, permitindo explicitar condições de forma consistente. Nesta fase, a aplicação é apresentada para o domínio da compartimentação, estando prevista a extensão a vias de evacuação e pontos de penetração nas fases que se seguem do projeto.
Com base nessa formalização, foram definidos requisitos de informação verificáveis através do mapeamento dos conceitos regulamentares para o esquema IFC e da sua materialização em especificações IDS, a partir das tabelas de mapeamento. Os resultados demonstram a viabilidade de um encadeamento claro entre o regulamento, os dados exigidos e a validação, reduzindo assim ambiguidade interpretativa e aproximando a regulamentação técnica dos modelos BIM. Como trabalho futuro, destaca-se a consolidação do mapeamento IFC para a ontologia e a validação da abordagem a um conjunto mais alargado de requisitos SCIE. Para além disso, prevê-se a validação prática com modelos IFC e ferramentas compatíveis com IDS encontra-se em preparação, possibilitando assim a quantificação de ganhos (tempo e deteção de erros) após estabilização dos protótipos.

Referências

[1] S. Zentgraf et al., «OntoBPR: Ontology-based workflow and concept for building permit reviews», em The 30th EG-ICE: International Conference on Intelligent Computing in Engineering, London, Jul. 2023. [Em linha]. Disponível em: https://api.semanticscholar.org/CorpusID:278283326
[2] E. Nuyts, J. Werbrouck, R. Verstraeten, e L. Deprez, «Validation of building models against legislation using SHACL», em Proceedings of the 11th Linked Data in Architecture and Construction Workshop (LDAC2023), CEUR, Jun. 2023, pp. 164–175.
[3] buildingSMART International, «Industry Foundation Classes (IFC)», buildingSMART. [Em linha]. Disponível em: https://www.buildingsmart.org/standards/bsi-standards/industry-foundation-classes/

[4] Administração Interna, Portaria n.o 135/2020, de 2 de junho. Portugal, 2020, pp. 2–214. [Em linha]. Disponível em: https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/portaria/135-2020-134991810
[5] Ministério da Administração Interna, Decreto-Lei n.o 220/2008, de 12 de novembro. Portugal, 2008. [Em linha]. Disponível em: https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/decreto-lei/220-2008-439866
[6] Assembleia da República, Lei n.o 123/2019, de 18 de outubro. Portugal, 2019. [Em linha]. Disponível em: https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/lei/123-2019-125468543
[7] Ministério da Administração Interna, Portaria n.o 1532/2008, de 29 de dezembro. Portugal, 2008. [Em linha]. Disponível em: https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/portaria/1532-2008-444380
[8] A. S. Ismail, K. N. Ali, e N. A. Iahad, «A Review on BIM-based automated code compliance checking system», em 2017 International Conference on Research and Innovation in Information Systems (ICRIIS), Langkawi: IEEE, Jul. 2017, pp. 1–6. doi: 10.1109/ICRIIS.2017.8002486.
[9] G. M. Di Giuda, A. Bonomi Boseggia, e P. Francesco, «DEVELOPMENT OF A RULE-BASED SYSTEM FOR AUTOMATED BIM CODE-CHECKING», Proceedings of International Structural Engineering and Construction, vol. 8, n. 1, Jul. 2021, doi: 10.14455/ISEC.2021.8(1).AAE-08.
[10] A. Borrmann, M. König, C. Koch, e J. Beetz, Building Information Modeling Technology Foundations and Industry Practice: Technology Foundations and Industry Practice. Springer, 2018. doi: 10.1007/978-3-319-92862-3.
[11] N. Bus, A. Roxin, G. Picinbono, e M. Fahad, «Towards French Smart Building Code: Compliance Checking Based on Semantic Rules», Out. 2019, [Em linha]. Disponível em: https://arxiv.org/abs/1910.00334
[12] International Organization for Standardization (ISO), ISO 7817-1:2024: Building information modelling — Level of information need Part 1: Concepts and principles. 2024. Acedido: 30 de Abril de 2026. [Em linha]. Disponível em: https://www.iso.org/standard/82914.html
[13] buildingSMART International, «IFC 4.3», buildingSMART. [Em linha]. Disponível em: https://standards.buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4_3/
[14] L. van Berlo, «ifcOWL». Acedido: 30 de Abril de 2026. [Em linha]. Disponível em: https://technical.buildingsmart.org/standards/ifc/ifc-formats/ifcowl/
[15] buildingSMART International, «Information Delivery Specification (IDS)». [Em linha]. Disponível em: https://www.buildingsmart.org/standards/bsi-standards/information-delivery-specification-ids/
[16] buildingSMART, «IDS Repository», GitHub. [Em linha]. Disponível em: https://github.com/buildingSMART/IDS

12345

O OPENBIM NO DESIGN & BUILD: DA VISÃO À IMPLEMENTAÇÃO

Ricardo Simões

ptBIM

O OPENBIM NO DESIGN & BUILD: DA VISÃO À IMPLEMENTAÇÃO

Ricardo Simões [(1)]

(1) WALLNUT | Design + Build, Lisboa, ID 0009-0002-0162-984X

Resumo
A adoção do *Building Information Modelling* (BIM) de forma transversal é dificultada pela descontinuidade entre os modelos desenvolvidos em fase de projeto e as necessidades específicas das equipas na frente de obra. Esta lacuna obriga os empreiteiros a reformular os modelos, o que limita a integração eficaz desta metodologia em formato aberto ao longo do processo.
Este artigo descreve a visão estratégica do *openBIM* numa empresa de *Design & Build*, na qual a integração dos processos de conceção e construção oferece uma excelente oportunidade para superar essas barreiras. É apresentado um fluxograma que capitaliza a flexibilidade do *software* proprietário na fase de conceção dos projetos, estabelecendo, simultaneamente, uma troca de informações rigorosa e controlada, por meio de formatos abertos, na transição para a fase de obra.
A definição dos requisitos de produção e de partilha de informação garante um fluxo de trabalho otimizado, potenciando a interoperabilidade na gestão do projeto e da obra, bem como na entrega do ativo digital ao cliente.
Por fim, é partilhado o estado de implementação desta metodologia, as lições aprendidas e as perspetivas futuras, concluindo-se que esta abordagem controlada do *openBIM* é crucial para maximizar a eficiência e estabelecer um ciclo de vida do ativo digital robusto e auditável.

1. Introdução

A digitalização no setor da Arquitetura, Engenharia e Construção tem encontrado no BIM o seu principal catalisador. No entanto, a implementação desta metodologia ainda sofre de uma fragmentação digital acentuada. Embora a fase de conceção de projeto apresente elevados níveis de maturidade no uso de ferramentas de modelação, a transição dessa informação para a fase de execução em obra constitui um desafio crítico. Frequentemente, os modelos desenvolvidos pelas equipas de projeto não dispõem da estrutura de dados necessária para alimentar os processos de gestão de obra, o que resulta numa perda substancial de valor e na necessidade de retrabalho a jusante.

Esta descontinuidade é agravada por fluxos de trabalho fechados, que limitam a colaboração entre os diferentes intervenientes e impõem barreiras económicas e técnicas por meio da dependência de *softwares* proprietários. No modelo de Conceção e Construção, ou *Design & Build*, esta ineficiência é particularmente penalizadora, uma vez que a mesma organização assume a responsabilidade pela integridade da informação desde o esboço inicial até à entrega do ativo.
Neste contexto, apresenta-se uma metodologia estratégica baseada na norma ISO 19650. A sua base assenta na definição rigorosa de requisitos de produção e de trocas de informação, suportada por normas abertas, permitindo estabelecer uma ponte robusta entre o ambiente de modelação proprietário e as necessidades pragmáticas do estaleiro. Ao promover-se um sistema de produção de informação e um fluxo de trabalho controlados, demonstra-se como é possível maximizar a utilização dos modelos em obra para comunicação, validação e controlo de qualidade, garantindo que o gémeo digital produzido é, efetivamente, um reflexo fiel e útil do ativo construído.

2. Contextualização

2.1 O *openBIM* em Portugal

A adoção do BIM em Portugal tem sido impulsionada essencialmente por empresas no setor que, invariavelmente, apostam num ecossistema em que predomina o uso de ferramentas proprietárias. Paralelamente, a entrega de modelos em IFC às entidades adjudicantes, ou para a fase de construção, é muitas vezes encarada como uma obrigação contratual, e não como um processo de valor acrescentado. Além da descontinuidade já referida, outra limitação significativa reside na qualidade da exportação: modelos sem mapeamento adequado das propriedades e sem uma estrutura de classes que respeite as necessidades de quem orçamenta ou planeia a obra.
Um dos maiores obstáculos à continuidade digital é a desadequação do *Level of Information Need* [1]. Os modelos de projeto tendem a focar-se na representação geométrica, com vista à produção de peças desenhadas, falhando na inclusão de dados críticos para a obra, tais como:

- Decomposição de elementos por subempreitadas;
- Parâmetros de rastreabilidade dos materiais;
- Codificação de custos vinculada aos cadernos de encargos.

Esta desconexão obriga as empresas de construção a alterar drasticamente o modelo ou a desenvolver um novo de raiz, o que anula os ganhos de eficiência previstos.

2.2 A vantagem estratégica do *Design & Build*

É nesta lacuna que o modelo *Design & Build* (D&B) se destaca como um ambiente privilegiado para a implementação do *openBIM*. Ao contrário dos contratos tradicionais, nos quais o projetista e o construtor têm objetivos e cronogramas muitas vezes conflituantes, no D&B a organização detém o controlo total sobre o fluxo de informação. Desta forma, segundo a ISO 19650-1 [2] e tal como ilustrado na Figura 1, enquanto Delivery Team, esta incorpora em si as Entidades Fornecedoras Líder (*Lead Appointed Party*) responsáveis pela produção de informação para projeto e obra, o que lhe confere autoridade e responsabilidade para gerir e coordenar um vasto conjunto de Entidades Fornecedoras (*Appointed Parties*).

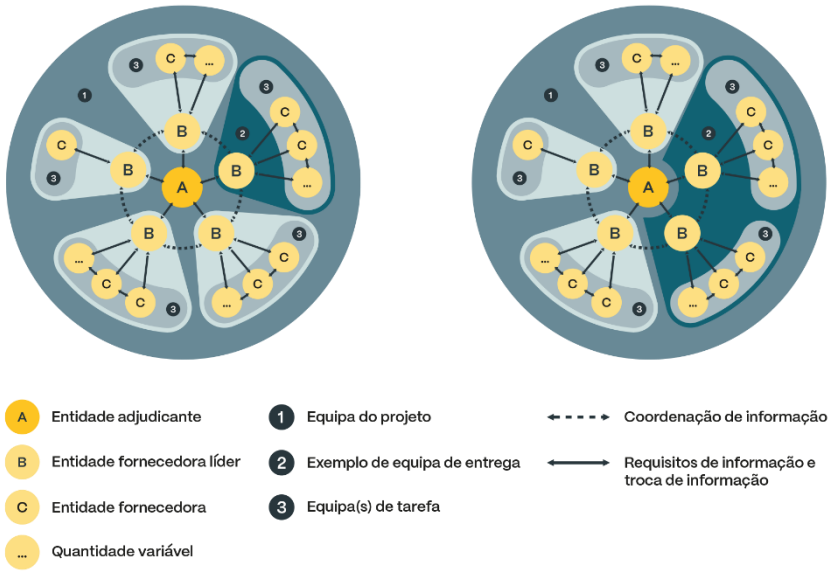


Figura 1: Interface entre entidades e equipas na gestão da informação entre o modelo tradicional (à esquerda) e o *Design & Build* (à direita)

Esta integração permite que a fase de obra dite os requisitos técnicos à fase de projeto desde o primeiro dia [3]. O uso de formatos abertos deixa de ser um trabalho adicional para se tornar uma linguagem comum que garante que as diferentes equipas consigam consultar e utilizar a informação gerada de forma eficiente, sem dependências de *softwares* proprietários. Assim, o *openBIM*, além de atuar como padrão técnico, representa uma estratégia de gestão de risco e de autonomia tecnológica para a organização, assegurando a continuidade digital ao longo do ciclo de entrega do ativo.

3. O fluxo de informação

3.1 Requisitos de informação

A produção de informação é orientada por uma hierarquia de requisitos que garante o alinhamento entre a estratégia da organização e a operação no estaleiro, conforme definido na ISO 19650-2 [4]. Este fluxo, ilustrado na Figura 2, inicia-se com a definição dos OIR (*Organizational Information Requirements*), que refletem os compromissos da empresa, por exemplo, com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS 8, 9 e 12) [5], entre outros. Estes requisitos macro desdobram-se nos PIR (*Project Information Requirements*), focados nas metas específicas da execução da obra e do próprio ativo, culminando posteriormente na redação do EIR (*Exchange Information Requirements*).
Neste documento, encontram-se definidos o "Quê" (LOIN – *Level of Information Need*), o "Como" (padrões de troca de informação) e as competências necessárias ao desenvolvimento do projeto. No EIR, também é definida a Matriz de Responsabilidades, cuja aplicação é detalhada posteriormente no Plano de Execução BIM (BEP).

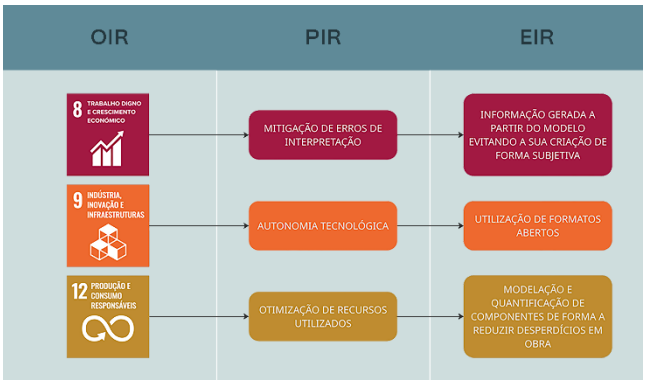


Figura 2: Ramificação dos requisitos de informação a partir do ODS

3.2 Produção de informação

Para garantir que a informação flua sem silos, a metodologia adota protocolos de planeamento rigorosos. O BEP surge como a resposta técnica ao EIR, detalhando a infraestrutura tecnológica, a responsabilidade de cada interveniente e os processos de colaboração.
Contudo, a estratégia reside na adoção de planos de entrega detalhados:

- *Task Information Delivery Plan* (TIDP): Cada interveniente define os seus *milestones*, incluindo a lista de entregáveis e as respetivas datas de partilha.
- *Master Information Delivery Plan* (MIDP): O gestor de informação reúne os TIDP num plano geral, garantindo que as dependências entre as entidades fornecedoras sejam acauteladas.

Este planeamento é fundamental para a automação de processos. Ao saber exatamente quando um modelo terá disponível a informação validada, as restantes equipas podem automatizar as suas verificações de coordenação, garantindo que os requisitos de uma entidade fornecedora alimentam, em tempo real, as decisões das restantes.

3.3 Validação da informação

Para superar a subjetividade das verificações manuais, a metodologia integra o uso de ficheiros de *Information Delivery Specification* (IDS), que servem como a tradução computacional do EIR.
Enquanto este define, por exemplo, que determinados elementos devem ter uma propriedade de resistência ao fogo, o IDS especifica que o parâmetro *FireRating* deve constar na respetiva classe IFC e conter um valor válido.
Este ficheiro permite que, antes de qualquer modelo ser aceite no Ambiente Comum de Dados (*Common Data Environment* - CDE), a informação seja validada automaticamente. Se o modelo não for aprovado pela análise do IDS, será rejeitado e devolvido à entidade fornecedora, acompanhado de um relatório de não conformidade.
Este rigor assegura que a base de dados que chega à obra é fiável e apta para a extração de quantidades ou para o planeamento.

3.4 Comunicação

A eficácia de um fluxo *openBIM* em ambiente de construção não depende apenas da qualidade dos dados, mas também da agilidade com que as incidências são comunicadas entre as equipas.

Para evitar a dispersão de informações em e-mails ou mensagens instantâneas não estruturadas, a metodologia adota o padrão *BIM Collaboration Format* (BCF). Este formato permite que não conformidades detetadas no modelo, conflitos identificados em obra ou pedidos de esclarecimentos, sejam registados com metadados precisos, nomeadamente:

- Posição Geográfica: O ponto de vista exato e os elementos envolvidos.
- Responsabilidade: Identificação dos intervenientes conforme definido na Matriz de Responsabilidades.
- Estado e Prioridade: Controlo em tempo real da resolução do problema.

A utilização de um *add-in* no *software* de modelação dinamiza a comunicação. A entidade fornecedora recebe a notificação e, com um clique, posiciona-se exatamente no local da incidência, eliminando ambiguidades e reduzindo drasticamente o tempo de resposta.
A centralização deste processo ocorre no CDE, que não é apenas um repositório de ficheiros, mas também uma plataforma de gestão de fluxos de trabalho. A interoperabilidade é garantida pela capacidade do Ambiente Comum de Dados de ler nativamente ficheiros IFC e de processar comentários do tipo BCF. Isto permite que os responsáveis em obra, utilizando dispositivos móveis, consultem a versão mais recente do modelo e comuniquem diretamente sobre o ambiente digital. Esta democratização do acesso à informação assegura que a tomada de decisão se baseia em dados validados, e não em interpretações de peças desenhadas possivelmente obsoletas.

3.5 O fluxograma

A metodologia baseia-se num fluxo de informação (Figura 3) que combina os requisitos de informação da entidade adjudicante, quando existentes, com os requisitos internos, garantindo uma produção de informação estritamente alinhada com os objetivos de negócio e com as necessidades operacionais da fase de construção. O fluxo estrutura-se nas seguintes etapas:

- Enquadramento: Formulação dos requisitos de informação do projeto.
- Planeamento: Elaboração do Plano de Execução BIM e dos planos de entrega de informação (TIDP e MIDP).
- Produção: Modelação no *software* proprietário, conforme o estabelecido no BEP.
- Controlo: Verificação, através do IDS, da existência dos parâmetros e propriedades requeridos no EIR e do respetivo correto preenchimento.
- Partilha: Exportação dos entregáveis (modelo IFC, peças desenhadas e outros elementos técnicos) e *upload* no CDE.
- Operação: Em obra, utilizam-se dispositivos móveis para aceder ao IFC e à restante documentação técnica. Qualquer discrepância entre o projeto e a realidade é registada no CDE como uma incidência e sincronizada automaticamente, na forma de BCF, com o *software* de modelação para validação e/ou retificação.

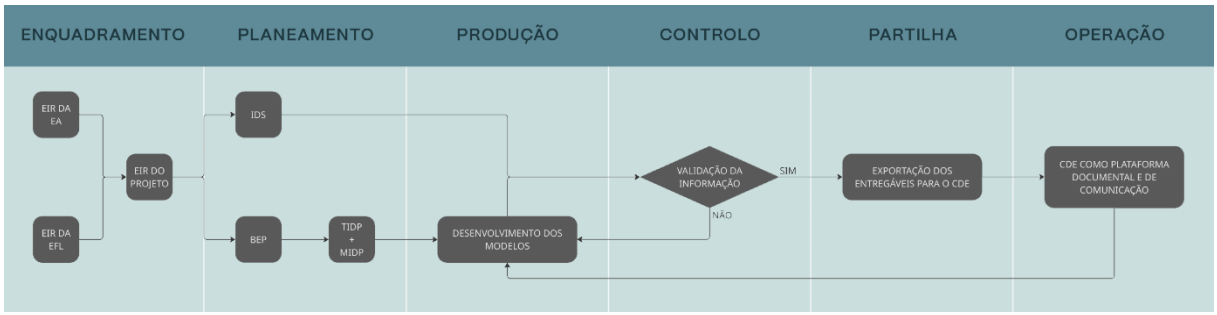


Figura 3: Fluxograma geral da metodologia apresentada

4. Sistematização do mapa de quantidades de trabalhos

O mapa de quantidades de trabalhos (MQT) é uma das referências contratuais para a execução de uma empreitada, uma vez que serve de base para a elaboração de orçamentos e autos de medição. Neste documento encontram-se listados todos os trabalhos a executar, discriminando a sua natureza, qualidade e quantidade [6].
Tradicionalmente, é desenvolvido e apresentado em folhas de cálculo. No entanto, este formato não permite de forma direta a rastreabilidade entre a informação discriminada e os elementos do projeto, situação agravada pela inexistência de uma estrutura normalizada para este documento.
Por esse motivo, com vista à definição de um fluxo de informação contínuo que permita a elaboração de um MQT de forma automática e que garanta a rastreabilidade da informação, tem sido testado um sistema de informação que assenta num sistema de classificação interno, assim como numa estrutura analítica que permite a decomposição do projeto enquanto produto – *Product Breakdown Structure (PBS)*.

4.1 O sistema de classificação

O sistema de classificação organiza-se por especialidade e tem como principal objetivo a caracterização de elementos e de materiais. Este não se limita à criação de uma estrutura hierárquica de códigos e respetivas descrições, são-lhes também associadas outras informações relevantes (Tabela 1).
No que diz respeito ao MQT, os códigos têm associadas a unidade de medição, a fórmula de cálculo para a quantificação considerando as propriedades dos elementos no *software* de modelação, bem como uma descrição pré-configurada para o articulado.

Tabela 1: Exemplo da informação definida no sistema de classificação

Código	Descrição	Unidade	Fórmula para quantificação
EST.CO.PL	Cofragem plana	m²	[Area]
EST.MT.BA.BM	Betão moldado	m³	[Volume]
EST.MT.AR.VA	Aço em varão	kg	[Volume] * [Unit weight] * 1000 / 9.81

4.2 O Product Breakdown Structure

O PBS representa a decomposição de um projeto em componentes, sistemas ou partes [7]. Assim, com vista à definição da organização da informação no MQT, foi desenvolvida uma estrutura analítica. Esta é constituída por três níveis macro do projeto: (i) especialidade, (ii) capítulo e (iii) subcapítulo.

Os restantes níveis, que completam a estrutura do PBS exemplificada na Tabela 2, funcionam como módulos, sendo alimentados diretamente pela informação contida nos modelos, através do mapeamento entre os subcapítulos do PBS e o sistema de classificação.

O mapeamento consiste na identificação de prefixos dos códigos de classificação de sistemas, elementos ou materiais que dão continuidade à decomposição do projeto.

Tabela 2: Estrutura hierárquica do *Product Breakdown Structure*

Nível	Designação	Exemplo
1	Especialidade	Estabilidade
2	Capítulo	Elementos estruturais de betão armado
3	Subcapítulo	Betão moldado
4	Sistema, material ou elemento	Betão C25/30 XC2 CL 0.4 Dmáx20 S4
5	Grupo	Pilares
6	Tipologia	25x30
7	Singularidade, localização ou instalação	P01

4.3 O mapa de quantidades de trabalhos

O MQT surge como o produto final da convergência entre a macroestrutura do PBS e a informação do sistema de classificação. Ao automatizar o processo de extração de quantidades a partir dos modelos, elimina-se a subjetividade das medições manuais, bem como as inconsistências na estrutura deste documento.

Este processo é conseguido através de um script em *Python* que agrupa os elementos hierarquicamente de acordo com o PBS, calculando paralelamente a quantidade a considerar no MQT mediante o código de classificação que lhes está atribuído.

A principal vantagem desta metodologia reside na rastreabilidade da informação através da associação de identificadores únicos e respetivo modelo de origem. Esta ligação permite a identificação visual dos elementos nos modelos que estão associados a uma determinada tarefa no MQT, promovendo transparência e rigor na gestão da informação.

De salientar ainda que, com a sistematização do MQT, torna-se também possível desenvolver outro tipo de soluções para as análises 4D e 5D.

5. Aplicação da metodologia a projeto piloto

A metodologia apresentada encontra-se a ser testada num projeto de reabilitação de dois edifícios integrados num complexo industrial, com uma área total aproximada de 1145 m². Dada

a complexidade operacional intrínseca ao modelo *Design & Build*, ilustrado na Figura 1, a implementação foi estruturada de forma evolutiva em duas frentes: projeto e obra. Esta abordagem permite a introdução gradual de novos procedimentos à medida que as etapas anteriores demonstram níveis satisfatórios de maturidade.
Numa primeira fase, adotou-se o Dalux como CDE. Esta escolha permitiu centralizar não só os modelos, mas também toda a documentação técnica, as peças desenhadas e os fluxos de comunicação numa única plataforma, otimizando a partilha de informação e a comunicação via BCF entre todos os intervenientes (Figura 4).

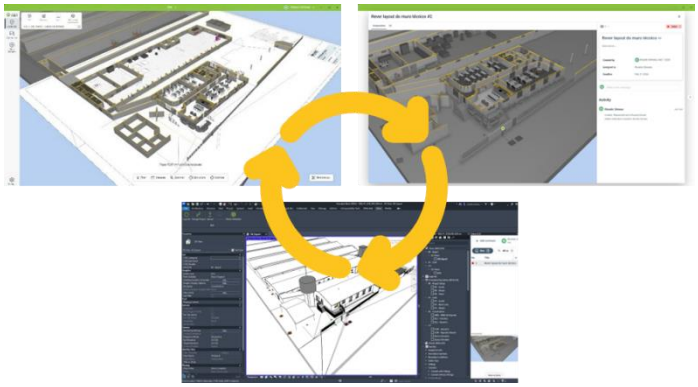


Figura 4: Interfaces de visualização e de comunicação no CDE e de acesso aos BCFs no *software* de modelação

Paralelamente, a definição progressiva dos requisitos de produção e de partilha de informação tem permitido consolidar os procedimentos de forma sistémica, garantindo que os planos de entrega de informação sejam aprimorados ao longo do processo.
Durante estas iterações, são testadas outras fases da metodologia, com foco na validação automatizada de novos modelos por meio de IDS. Este processo assegura que o fluxo *openBIM* suporta a dinâmica de alterações contínuas do projeto, sem perda de integridade dos dados, mantendo o modelo IFC como base de informação fiável e auditável.
Apesar do projeto piloto se encontrar numa fase inicial, foram já identificados indicadores de performance (KPIs) que demonstram a eficácia da metodologia comparativamente a processos tradicionais, apresentados na Tabela 3.

Tabela 3: Métricas de melhoria

Métricas	**Processo tradicional**	**Processo implementado**	**Impacto**
Tempo de validação	Verificação manual por amostragem	Validação automatizada via IDS	Redução de erros e omissões
Resolução de conflitos	E-mails com prints e descrições vagas	BCF com georreferenciação no modelo	Redução no tempo de resposta e comunicação mais eficaz
Acesso à informação	Consulta de projetos no formato físico no gabinete de estaleiro	Consulta imediata do IFC/PDF no local da tarefa (tablet)	Maior autonomia das equipas de campo

Custo de software	Necessidade de licenças de visualização proprietárias.	Uso de formatos abertos (gratuito para subempreiteiros)	Eliminação de custos de licenças adicionais

6. Considerações finais

O percurso de implementação da metodologia *openBIM* aqui apresentado revela que a eficácia da digitalização não depende da adoção de uma ferramenta isolada, mas sim da estruturação de um ecossistema de partilha de informação. A transição de um ambiente de modelação proprietário para um fluxo de trabalho baseado em formatos abertos (IFC, IDS, CDE e BCF) permitiu à organização mitigar as descontinuidades históricas entre a informação produzida pela equipa de projeto e a recebida em obra.

6.1 Lições aprendidas e barreiras superadas

A principal aprendizagem deste processo é que o rigor na definição dos requisitos de informação é a solução para reduzir o seu excesso nos modelos. Este paradigma permite controlar a tendência de produzir geometria complexa, bem como a quantidade desmesurada de propriedades associadas aos elementos nos modelos.

No contexto de uma organização *Design & Build*, em que as especialidades operam *in-house*, a gestão da informação revelou-se um desafio de elevada complexidade. A proximidade das equipas obriga a que o processo seja pensado inicialmente numa perspetiva macro — definindo fluxos globais e responsabilidades, como *Lead Appointed Party* — para, só depois, aprofundar os procedimentos técnicos específicos de cada entidade fornecedora. Esta abordagem evitou o erro comum de focar na técnica antes de consolidar a estratégia de colaboração.

A implementação foi, por isso, estruturada de forma faseada e evolutiva. Esta estratégia permitiu que as barreiras culturais e a resistência à mudança fossem superadas através da demonstração pragmática de ganhos de tempo. A resolução de incidências via BCF e a facilidade de acesso à informação na frente de obra, através do Ambiente Comum de Dados, serviram como provas de conceito que validaram a metodologia perante as equipas, facilitando a aceitação de procedimentos mais complexos em fases posteriores.

6.2 Visão de futuro e impacto no setor

Esta base de dados, validada em IFC, constitui o alicerce para a integração automatizada dos processos 4D e 5D, bem como para a entrega de um Gémeo Digital operacional ao cliente. A metodologia não resolve apenas uma necessidade interna de eficiência, mas propõe também um modelo de colaboração mais transparente e auditável.

Em suma, o *openBIM* deixa de ser um conceito teórico de interoperabilidade para se tornar uma vantagem competitiva tangível, permitindo que a informação flua sem perdas nem excessos, do primeiro traço do arquiteto até à última inspeção em obra.

Referências

[1] ISO 7817-1:2024 – Building information modelling — Level of information need — Part 1: Concepts and principles
[2] ISO 19650-1:2018 - Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) — Information management using building information modelling — Part 1: Concepts and principles
[3] Latham, M. (1994), *Constructing the Team: Final Report of the government/industry review of procurement and contractual arrangements in the UK construction industry*: HMSO, 1994.
[4] ISO 19650-2:2018 - Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) — Information management using building information modelling — Part 2: Delivery phase of the assets.
[5] United Nations, *Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development*, A/RES/70/1, 2015.
[6] Ministério da Habitação, *Portaria n.º 255/2023, 7 de agosto*, Diário da República n.º 152/2023, Série I de 2023-08-07.
[7] Project Management Institute, *PMBOK – Project Management Book Of Knowledge*, Global Standard.

12345

USO DE IDS: AVALIAÇÃO DE FLUXO DE VERIFICAÇÃO DE CONFORMIDADE COM PYTHON E BONSAI

Letícia Weijh, Eduarda Castilho, Paulo Santos, Melissa Yamada, Hugo Silva, Luís Ribeirinho

ptBIM

USO DE IDS: AVALIAÇÃO DE FLUXO DE VERIFICAÇÃO DE CONFORMIDADE COM PYTHON E BONSAI

Letícia Weijh [(1)], Eduarda Castilho [(1)], Paulo Santos [(1)], Melissa Yamada [(1)], Hugo Silva [(2)], Luís Ribeirinho [(2)]

(1) TPF Engenharia, LTDA, Recife
(2) TPF – CONSULTORES DE ENGENHARIA E ARQUITETURA, S.A., Lisboa

Resumo
A crescente adoção do *Industry Foundation Classes* (IFC) impulsiona a interoperabilidade e a troca estruturada de informação ao longo do ciclo de vida dos projetos. Neste ecossistema openBIM, definiu-se o *Information Delivery Specification* (IDS), formato padronizado e legível por máquina (*machine-readable*), que permite verificar requisitos de informação, assegurando a consistência e a conformidade dos modelos IFC face aos requisitos de informação do projeto. Este artigo apresenta abordagens na definição, geração e verificação com IDS, comparando casos práticos de fluxos complementares em projeto da TPF.
Na abordagem desenvolvida pela TPF Engenharia, descreve-se um processo baseado em requisitos tabulares, convertidos para IDS via *script Python* que gera um XML conforme a especificação IDS. A verificação é realizada com o módulo do Bonsai BIM (Blender), permitindo avaliar automaticamente a conformidade dos modelos IFC e gerar relatórios.
Como termo de comparação, são analisadas outras soluções disponíveis no ecossistema openBIM, nomeadamente o módulo usBIM.IDSeditor e a plataforma BIMCollab. Estas abordagens permitem a definição e verificação de requisitos de informação por meio de interfaces gráficas, com diferentes níveis de integração entre a criação do IDS e a verificação de informação nos modelos IFC. A comparação das várias perspetivas evidencia a versatilidade do IDS na gestão de requisitos BIM, oferecendo contributos práticos para a sua implementação em ambientes openBIM.

1. Introdução

Na indústria da construção, projetos de qualquer escala devem atender a múltiplas exigências do programa de necessidades. Tradicionalmente, a verificação normativa foi sempre manual, o que exige tempo e depende da subjetividade do analista e da qualidade da representação gráfica. Este processo é altamente suscetível a erros, omissões e falta de padronização [1].

Estudos indicam que durante a fase de desenvolvimento de projeto, a aplicação de ferramentas BIM pode reduzir significativamente o esforço associado à análise e verificação técnica em comparação a métodos tradicionais [2]. Todavia, a complexidade na implantação da metodologia pode estender o cronograma total do empreendimento, mesmo com ganhos setoriais de até 48% na fase de projeto [3]. Nesse cenário, a integração do padrão *Information Delivery Specification* (IDS) ao fluxo openBIM surge como estratégia para otimizar a validação de dados específicos, permitindo a automação de até 66% dos requisitos e apoiando a gestão de modelos mais precisos entre projetistas e entidades públicas [4, 5].
Apesar do potencial de automação associado ao IDS, persistem limitações práticas relacionadas com a forma como os requisitos de informação são definidos e interpretados, nomeadamente ambiguidades terminológicas, inconsistências na nomenclatura de propriedades e dependência de verificações manuais em softwares de autoria, o que compromete a interoperabilidade do fluxo [6]. Para mitigar estas dificuldades, a literatura propõe abordagens híbridas, nas quais os requisitos são inicialmente estruturados e normalizados através de procedimentos automatizados, sendo posteriormente formalizados e verificados através de ficheiros IDS [7]. Esta estratégia permite reduzir subjetividades e aumentar a consistência da validação semântica em diferentes plataformas. Este artigo visa propor uma metodologia para a verificação automatizada de requisitos de informação em modelos BIM, utilizando o padrão IDS, com foco na garantia da qualidade e conformidade de dados em esquemas IFC. Espera-se que a abordagem apoie o desenvolvimento de projetos openBIM desde a conceção, otimizando a gestão da informação e a extração de dados confiáveis. A automação da partilha desses requisitos via IDS pretende auxiliar empresas de projeto e entidades públicas na entrega de modelos IFC com maior qualidade de informação. Como objetivos específicos, o estudo procura:

- Sistematizar o processo de tradução dos requisitos de informação definidos no *BIM Execution Plan* (BEP) para um formato interpretável por máquinas;
- Estruturar um fluxo metodológico replicável para geração e aplicação de ficheiros IDS em diferentes plataformas;
- Demonstrar a aplicação do IDS como instrumento de verificação automática da qualidade da informação em modelos IFC;
- Comparar as diferentes metodologias, avaliando as vantagens e desvantagens de cada uma.

A avaliação da metodologia proposta e da sua aplicabilidade foi realizada tendo como base um referencial comum de requisitos de informação, derivado de um projeto real em ambiente openBIM, assegurando a uniformidade dos critérios de análise

2. Enquadramento Teórico

2.1. Desafios do IDS na qualidade da informação

O IDS, padrão desenvolvido pela buildingSMART International, consolida-se como um formato essencial para a gestão de ativos no openBIM, permitindo a definição clara de requisitos de troca de informação em modelos BIM. Além da atribuição de propriedades, o uso de IDS viabiliza a análise de toda a estrutura de informações, padrões e normas técnicas que foram atribuídas a elementos, de forma sistemática.

A importância do IDS como um padrão baseado em princípios openBIM, que promove o uso de formatos abertos e interoperáveis nas conceções digitais dos ativos [8], assenta no reconhecimento de que a informação só se torna conhecimento valioso quando é recolhida e processada de forma eficiente. Todavia, como o padrão em si é relativamente novo, ele ainda não está a ser utilizado integralmente e é relativamente desconhecido para as empresas [5].
A qualidade da informação em modelos BIM pode ser comprometida pela ambiguidade na definição dos Requisitos de Informação e por inconsistências na modelação, afetando diretamente a fiabilidade dos dados. Segundo Pauwels et al. [5], áreas como o *Facility Management* (FM) são particularmente sensíveis a estas fragilidades, uma vez que dependem de informação completa, estruturada e consistente para suportar a operação e manutenção dos ativos.
Perante a ausência de uma solução unificada, a gestão da informação em BIM fundamenta-se na aplicação estratégica de padrões como ISO 12006, ISO 29481, ISO 19650 e o padrão IDS. O uso do padrão IDS, portanto, destaca-se por converter requisitos de informação descritos em linguagem natural para um formato estruturado (IDS em XML), viabilizando a automação da validação semântica. Tal transição minimiza subjetividades e falhas operacionais, alinhando a entrega do modelo às necessidades específicas de cada projeto.

2.2. IDS de requisitos de informação e outras soluções openBIM

No âmbito do ecossistema openBIM, o padrão IDS fundamenta-se numa estrutura XML de natureza dual, que assegura simultaneamente a legibilidade humana e a interoperabilidade computacional dos requisitos de informação. Essa configuração binária permite que metadados contextualizem as exigências normativas, enquanto esquemas computacionais parametrizam a validação automatizada em ferramentas de autoria. Integrado com o formato BCF, o IDS potencializa as auditorias de modelos ao aliar a validação semântica à gestão rastreável de não conformidades. Essa sinergia desvincula o registo de inconsistências do ficheiro federado, reduzindo a redundância de dados e garantindo que as diretrizes estratégicas do gestor BIM sejam executadas com precisão técnica e eficiência operacional.
A integração dos padrões IDS e BCF, aliada ao esquema IFC, estabelece um fluxo de auditoria eficiente onde a validação automatizada precede a comunicação rastreável de inconsistências. Esta abordagem sistematiza as fases de verificação propostas por Eastman et al. [9] (interpretação, preparação, execução e relato), garantindo a integridade técnica do modelo e minimizando custos operacionais de retrabalho.

3. Abordagens tecnológicas para implementação do padrão IDS

No ecossistema openBIM, a aplicação do padrão *Information Delivery Specification* (IDS) pode ser realizada através de diferentes estratégias, variando entre abordagens baseadas em ferramentas comerciais com interfaces gráficas e fluxos personalizados desenvolvidos internamente. Em geral, estas abordagens têm como objetivo facilitar a definição de requisitos de informação e permitir a sua verificação automatizada em modelos IFC, reduzindo a dependência de validações manuais e aumentando a consistência do controlo de qualidade.
Atualmente, diversas plataformas comerciais disponibilizam funcionalidades para a criação e execução de regras IDS, recorrendo a interfaces gráficas que dispensam o contacto direto com a estrutura XML do ficheiro IDS. Entre as soluções analisadas no âmbito deste estudo

destacam-se o módulo usBIM.IDSeditor e a plataforma BIMcollab, ambos orientados para simplificar a configuração de requisitos de informação e apoiar a validação de modelos IFC.
Importa salientar que, no caso do ecossistema usBIM, a presente análise incide exclusivamente sobre o módulo gratuito usBIM.IDSeditor, não abrangendo outros serviços integrados e comerciais disponibilizados pela mesma plataforma. Em ambas as soluções, a criação das regras IDS é conceptualmente semelhante, sendo realizada através de menus que permitem definir entidades IFC, propriedades, atributos e critérios de obrigatoriedade. Esta abordagem reduz a complexidade associada à elaboração manual de ficheiros XML e torna o processo mais acessível a utilizadores sem conhecimentos avançados de linguagens estruturadas.
No usBIM.IDSeditor, após a definição das regras de verificação, é descarregado o respetivo ficheiro IDS em formato XML, o qual pode posteriormente ser utilizado em ferramentas externas para execução da verificação. No âmbito deste estudo, o ficheiro exportado foi aplicado de forma análoga ao fluxo baseado em *scripts Python*, recorrendo ao *plugin* Bonsai BIM no Blender para a validação do modelo IFC. Esta separação entre criação e execução permite flexibilidade na escolha da ferramenta de verificação, mantendo o IDS como um ficheiro independente.
Por sua vez, no BIMcollab, a utilização do IDS está intrinsecamente associada ao próprio serviço, sendo as regras configuradas e executadas de forma integrada em ambiente *cloud*. A verificação é realizada diretamente no visualizador IFC, BIMcollab ZOOM, com comunicação nativa à plataforma, permitindo que as não-conformidades sejam registadas e acompanhadas de forma centralizada. Embora o fluxo seja orientado para um ambiente integrado, o BIMcollab permite também a exportação do ficheiro IDS, possibilitando a sua reutilização em outras ferramentas, ainda que essa funcionalidade não seja o foco principal do processo colaborativo promovido pela plataforma.
Apesar das vantagens associadas às soluções comerciais baseadas em interfaces gráficas, nomeadamente a facilidade de utilização e a integração com ambientes colaborativos, podem surgir necessidades adicionais relacionadas com o controlo estrutural do ficheiro IDS, a automatização da tradução de requisitos em grande escala e a independência face a plataformas específicas. Neste contexto, a adoção de uma abordagem baseada em *scripts* em *Python* permite reforçar a autonomia técnica das equipas, possibilitando que a geração do IDS seja integrada num processo sistemático e replicável.
Ao automatizar a conversão de requisitos tabulares para IDS, pode-se tornar possível a redução do esforço manual na criação de regras e assegurar consistência na estrutura dos ficheiros gerados. Além disso, a abordagem programática favorece a adaptação a diferentes projetos e a integração futura com outros sistemas digitais, promovendo o desenvolvimento de conhecimento interno na gestão de requisitos de informação em ambiente openBIM, potenciando a evolução de funcionalidades que vão além daquelas disponíveis no mercado.
Com base neste enquadramento, apresenta-se de seguida a metodologia proposta, centrada na estruturação de requisitos em *template* tabular e na geração automatizada de ficheiros IDS por meio de programação em *Python*, seguida da verificação em ambiente Bonsai BIM.

4. Metodologia

A partir dos objetivos, a metodologia adotada foi a estruturação de um fluxo seguindo a ordem da Figura 1, com (i) tradução dos requisitos de informação para com esses dados, (ii) construir o IDS, (iii) fazer a verificação desses dados e no final (iv) a partir dos relatórios realizar a

comparação dos resultados. Posteriormente, é feita uma consideração em relação à comunicação pelo BCF. O processo envolve a sistematização de um *template* tabular e a conversão automática utilizando programação *Python*. Para enquadrar esta metodologia e para efeitos de comparação, foram analisadas duas soluções comerciais para a definição e validação de Requisitos de Informação para o mesmo caso de estudo: o usBIM.IDSeditor e a plataforma BIMcollab.

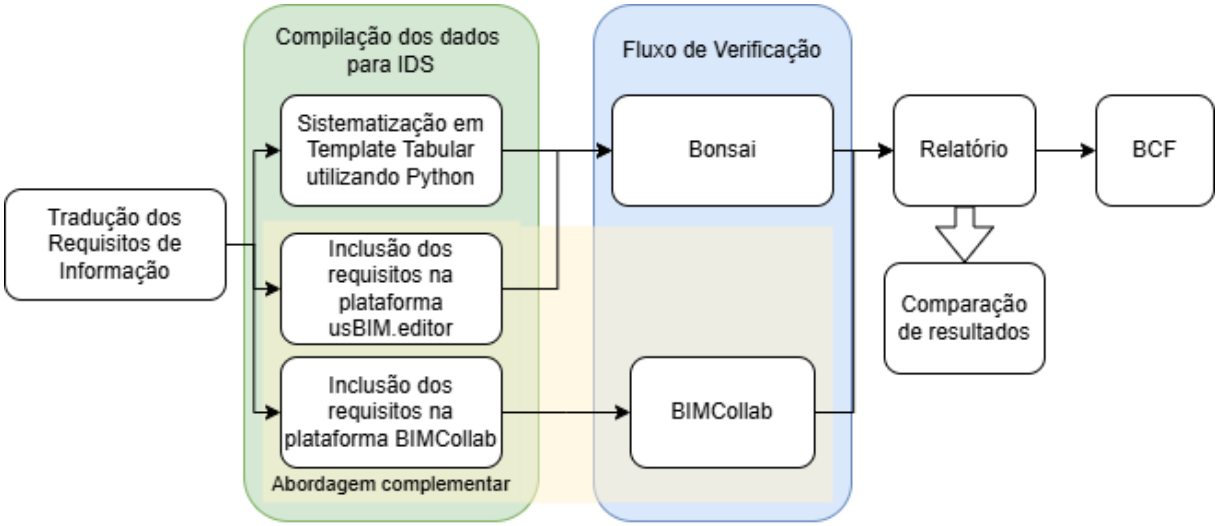


Figura 1: Fluxo aplicado à metodologia.

4.1 Tradução dos requisitos de informação

A primeira etapa consiste na identificação e organização dos Requisitos de Informação aplicáveis ao projeto, estabelecendo a base para a sua posterior tradução para regras IDS e verificação automatizada em modelos IFC.

De acordo com a ISO 19650 [10], os requisitos são inicialmente definidos ao nível dos *Project Information Requirements* (PIR) e traduzidos em *Exchange Information Requirements* (EIR), que estabelecem a informação a ser entregue em cada fase ou momento de troca. A partir do EIR, são especificados os requisitos de *Level of Information Need* (LOIN), determinando o grau de detalhe e a natureza da informação requerida (geométrica, alfanumérica e documental). Estes requisitos podem então ser convertidos para um formato interpretável por máquina através do padrão *Information Delivery Specification* (IDS), permitindo a automatização da verificação de modelos IFC.

Num cenário de maior maturidade digital, a Entidade Requerente deveria fornecer diretamente os requisitos formalizados em formato IDS, permitindo à Entidade Fornecedora utilizar esse ficheiro como referência objetiva para validação dos modelos. Neste contexto, o *BIM Execution Plan* (BEP), elaborado pela Entidade Fornecedora, estabelece os processos e responsabilidades para assegurar o cumprimento desses requisitos.

No entanto, na prática os requisitos são frequentemente disponibilizados apenas em linguagem natural ou em formatos tabulares não estruturados. Assim, torna-se necessário que a própria Entidade Fornecedora proceda à sua formalização e conversão para o padrão IDS, garantindo consistência, verificabilidade e rastreabilidade ao longo do desenvolvimento do projeto.

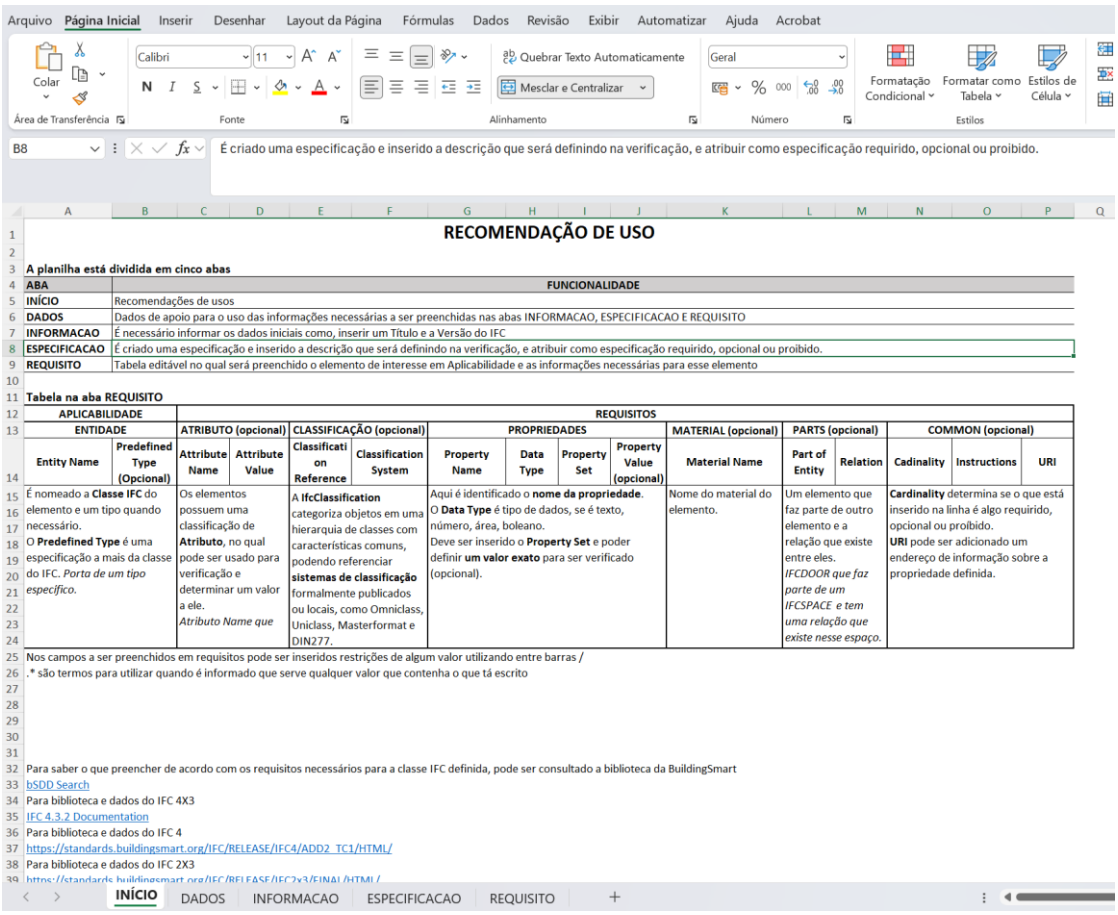
Nesse contexto, a ausência de regras estruturadas em formatos legíveis por máquina, bem como a dependência de requisitos descritos exclusivamente em linguagem natural, constitui uma das principais barreiras à verificação automatizada e à confiabilidade dos modelos BIM [1].

4.2 Estruturação dos dados e conversão automatizada para padrão IDS

Para permitir a formalização sistemática dos requisitos de informação em formato IDS, sem depender exclusivamente de soluções comerciais e evitando a criação manual de ficheiros XML, foi desenvolvido um *template* tabular que estabelece uma ponte entre a linguagem natural fornecida na definição dos requisitos e a estrutura formal do IDS. Este será posteriormente convertido de forma automatizada num ficheiro IDS, por meio de *scripts* em *Python*.

O *template* tem como finalidade tornar o processo acessível a profissionais que não possuem domínio da linguagem XML, reduzindo as barreiras técnicas associadas à tradução dos requisitos de informação para um formato interpretável por máquina. Além de funcionar como um meio de entrada de dados mais amigável, o *template* tabular atua como um instrumento orientador, pois incorpora instruções de preenchimento, explicações sobre os requisitos e indicações do tipo de dado esperado, auxiliando o utilizador na correta e consistente tradução dos requisitos de informação.

Os dados de entrada contemplam, principalmente, a definição de entidades IFC, atributos, classificações, propriedades, tipos de dados, valores esperados e critérios de obrigatoriedade.



Arquivo Página Inicial Inserir Desenhar Layout da Página Fórmulas Dados Revisão Exibir Automatizar Ajuda Acrobat

B8: É criado uma especificação e inserido a descrição que será definindo na verificação, e atribuir como especificação requirido, opcional ou proibido.

RECOMENDAÇÃO DE USO

A planilha está dividida em cinco abas

ABA	FUNCIONALIDADE
INÍCIO	Recomendações de usos
DADOS	Dados de apoio para o uso das informações necessárias a ser preenchidas nas abas INFORMACAO, ESPECIFICACAO E REQUISITO
INFORMACAO	É necessário informar os dados iniciais como, inserir um Título e a Versão do IFC
ESPECIFICACAO	É criado uma especificação e inserido a descrição que será definindo na verificação, e atribuir como especificação requirido, opcional ou proibido.
REQUISITO	Tabela editável no qual será preenchido o elemento de interesse em Aplicabilidade e as informações necessárias para esse elemento

Tabela na aba REQUISITO

APLICABILIDADE		REQUISITOS												
ENTIDADE		ATRIBUTO (opcional)		CLASSIFICAÇÃO (opcional)		PROPRIEDADES				MATERIAL (opcional)	PARTS (opcional)		COMMON (opcional)		
Entity Name	Predefined Type (Opcional)	Attribute Name	Attribute Value	Classification Reference	Classification System	Property Name	Data Type	Property Set	Property Value (opcional)	Material Name	Part of Entity	Relation	Cadinality	Instructions	URI
É nomeado a **Classe IFC** do elemento e um tipo quando necessário. O **Predefined Type** é uma especificação a mais da classe do IFC. *Porta de um tipo específico.*		Os elementos possuem uma classificação de **Atributo**, no qual pode ser usado para verificação e determinar um valor a ele. *Atributo Name que*		A **IfcClassification** categoriza objetos em uma hierarquia de classes com características comuns, podendo referenciar **sistemas de classificação** formalmente publicados ou locais, como Omniclass, Uniclass, Masterformat e DIN277.		Aqui é identificado o **nome da propriedade**. O **Data Type** é tipo de dados, se é texto, número, área, boleano. Deve ser inserido o **Property Set** e poder definir **um valor exato** para ser verificado (opcional).				Nome do material do elemento.	Um elemento que faz parte de outro elemento e a relação que existe entre eles. *IFCDOOR que faz parte de um IFCSPACE e tem uma relação que existe nesse espaço.*		**Cardinality** determina se o que está inserido na linha é algo requirido, opcional ou proibido. **URI** pode ser adicionado um endereço de informação sobre a propriedade definida.		

Nos campos a ser preenchidos em requisitos pode ser inseridos restrições de algum valor utilizando entre barras /
.* são termos para utilizar quando é informado que serve qualquer valor que contenha o que tá escrito

Para saber o que preencher de acordo com os requisitos necessários para a classe IFC definida, pode ser consultado a biblioteca da BuildingSmart
bSDD Search
Para biblioteca e dados do IFC 4X3
IFC 4.3.2 Documentation
Para biblioteca e dados do IFC 4
https://standards.buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4/ADD2_TC1/HTML/
Para biblioteca e dados do IFC 2X3

INÍCIO DADOS INFORMACAO ESPECIFICACAO REQUISITO

Figura 2: *Template* tabular para estruturação de requisitos do IDS.

Para apoiar o correto preenchimento dessas informações e assegurar aderência aos padrões abertos, o *template* orienta a consulta ao esquema IFC disponibilizado no site da própria buildingSMART, facilitando a associação de conceitos definidos em linguagem natural a uma semântica estruturada e normalizada, garantindo consistência semântica, interoperabilidade e alinhamento com as boas práticas internacionais.
Após o preenchimento completo do *template* tabular, os dados são convertidos num ficheiro com extensão *.ids*. Essa conversão é realizada por meio de uma ferramenta automatizada desenvolvida em *Python*, responsável por transformar a estrutura tabular do ficheiro *Excel* num documento *machine-readable*, em conformidade com a especificação do padrão IDS.
A ferramenta é disponibilizada na forma de um ficheiro executável, eliminando a necessidade de interação direta do utilizador com o código-fonte. Para realizar a conversão, basta abrir o executável e carregar o *template* tabular devidamente preenchido, permitindo que o sistema execute automaticamente o processo e gere o ficheiro *.ids* correspondente.

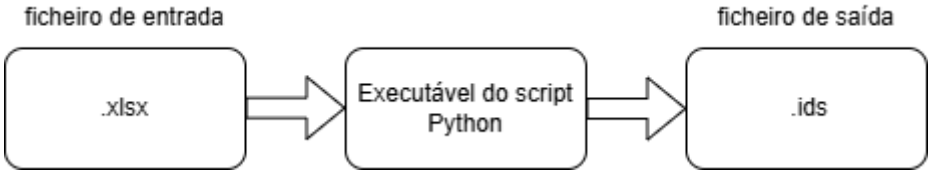


Figura 3: Processo para conversão do *template* tabular em ficheiro IDS.

O ficheiro IDS resultante passa, então, a atuar como a referência formal de verificação, estabelecendo de maneira objetiva a informação alfanumérica do LOIN, as suas condições de aplicabilidade e os critérios de validação. Na etapa seguinte do fluxo metodológico, o ficheiro IDS é utilizado em conjunto com o modelo BIM para a execução da verificação automatizada, na qual as informações contidas no modelo são comparadas com os requisitos previamente especificados. Esse processo possibilita a identificação sistemática de não-conformidades, assegurando maior confiabilidade, rastreabilidade e padronização na validação da informação alfanumérica do modelo BIM.

4.3 Verificação das informações dos modelos BIM no Bonsai

A verificação das informações dos modelos IFC é realizada por meio do *software* Blender, em conjunto com o *plugin* Bonsai BIM. Inicialmente, o modelo IFC é carregado no ambiente do Bonsai BIM, juntamente com o ficheiro IDS previamente gerado a partir do *template* tabular. A partir desse cruzamento, o sistema executa automaticamente a verificação da informação alfanumérica definida no LOIN, avaliando tanto a aplicabilidade quanto a conformidade dos elementos do modelo em relação às regras especificadas no IDS.
Os resultados da verificação são apresentados pelo Bonsai BIM por meio de relatórios em formato HTML, nos quais os elementos que atendem aos requisitos são sinalizados em verde, enquanto aqueles em não conformidade são destacados em vermelho. Esses relatórios permitem a análise consolidada da conformidade dos requisitos e a extração de listagens estruturadas das não-conformidades identificadas. Adicionalmente, o Bonsai BIM permite a exportação das não-conformidades em formato BCF, possibilitando a comunicação estruturada e rastreável dos *issues* em ambiente 3D.

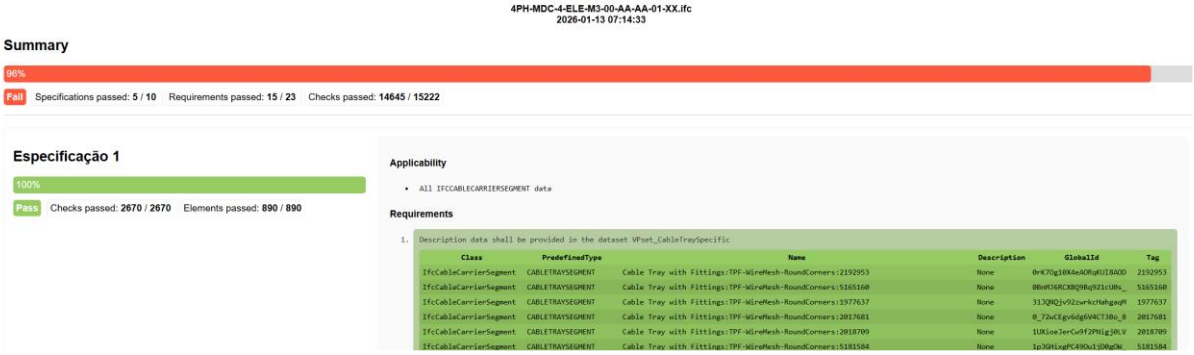


Figura 4: Relatório de verificação do IDS gerado pelo Blender com o *plugin* Bonsai BIM

5. Comparação de abordagens

A comparação entre as abordagens analisadas incide sobre o processo de preparação do ficheiro IDS, o nível de controlo na definição das regras e a integração do fluxo de verificação com práticas colaborativas. Mantendo o mesmo conjunto de requisitos, procurou-se avaliar diferenças operacionais e estratégicas associadas a cada solução.

No caso presente, verificou-se que esforço necessário para preparar o ficheiro IDS, a abordagem baseada em *template* tabular e conversão automatizada por *scripts* em *Python* apresentou maior tempo inicial de configuração, uma vez que requer a uma estruturação prévia integral dos requisitos fora do ambiente de validação. No *template*, a organização das regras, a definição da lógica de agrupamento em especificações e a verificação de consistência entre parâmetros são realizadas manualmente no ficheiro.

Em contrapartida, as abordagens baseadas em interfaces gráficas (usBIM.IDSeditor e BIMcollab) reduzem o tempo inicial de preparação por disponibilizarem mecanismos assistidos de preenchimento e validação, automatizando parte da estruturação necessária para geração do ficheiro IDS.

Tabela 1: Comparação do tempo de preparação do IDS

	Requisitos	**Tempo de preparação do IDS**
Template tabular + *Python*	elaboração de tabela excel e conversão para .xml	150 minutos
usBIM.IDSeditor	definição direta na plataforma	95 minutos
BIMcollab	definição direta na plataforma	110 minutos

Apesar da vantagem temporal associada às soluções gráficas, observam-se diferenças relevantes no controlo do processo, na independência de plataformas e na escalabilidade do fluxo. A abordagem baseada em *Python* destaca-se por potenciar flexibilidade na adaptação do *template* e na geração automatizada de regras, tornando-se particularmente adequada para cenários que exijam reutilização de requisitos e integração com metodologias internas. Por sua

vez, o BIMcollab apresenta maior maturidade na componente colaborativa, permitindo gerir as não-conformidades de forma centralizada, embora associado a um produto comercial pago.

Tabela 2: Comparação qualitativa geral

	Template* tabular + *Python	**usBIM.IDSeditor**	**BIMcollab**
Facilidade de criação inicial	Média	Alta	Alta
Controlo sobre a estrutura do ficheiro IDS	Alta	Baixa	Baixa
Exportação e reutilização do ficheiro IDS	Alta	Alta	Média
Potencial de escalabilidade para grande volume de requisitos	Alta	Baixa	Baixa
Comunicação de não-conformidades	Exportação manual de ficheiros BCF	Exportação manual de ficheiros BCF	Integrada em *cloud*
Dependência de plataforma comercial	Baixa	Alta	Alta
Custo de licenciamento	Gratuito (desenvolvimento interno)	Gratuito (à data do estudo)	Pago

6. Conclusões

O recurso ao IDS é um mecanismo eficaz para a verificação automatizada da qualidade da informação alfanumérica em modelos IFC.

A análise comparativa evidenciou que soluções baseadas em interfaces gráficas, como o usBIM.IDSeditor e o BIMcollab, reduzem o tempo inicial de preparação de ficheiros IDS e facilitam a adoção inicial do padrão em equipa, nomeadamente em contextos colaborativos. No entanto, estas abordagens implicam uma maior dependência de serviços comerciais e menor controlo sobre a estrutura final do ficheiro IDS, o que pode limitar a flexibilidade e escalabilidade do processo em projetos com grande volume de requisitos. Acresce que os softwares comerciais estão sujeitos a atualizações, alterações de modelo de licenciamento ou mesmo descontinuação, podendo introduzir limitações inesperadas no fluxo de trabalho. Por contraste, a utilização de um *template* tabular estruturado não sofre descontinuidade tecnológica, uma vez que constitui uma base de trabalho independente de plataformas específicas, garantindo maior estabilidade e continuidade ao longo do tempo.

A metodologia baseada na estruturação de requisitos em *template* tabular, conversão automatizada por meio de *scripts* em *Python* e verificação no Bonsai BIM demonstrou ser viável no contexto analisado, apresentando potencial de escalabilidade, com o controle na criação de ficheiros IDS e independência de plataformas comerciais. A abordagem

programática em *Python* também favorece a melhoria contínua do processo interno, podendo-se ajustar e expandir funcionalidades de criação de ficheiro IDS.
Neste sentido, os resultados indicam que não existe uma solução única, sendo a escolha da abordagem mais adequada fortemente dependente dos objetivos do projeto, do nível de maturidade BIM das equipas e das exigências de interoperabilidade e colaboração.

Referencias

[1] de Mendonça, E. A., & Ferreira, S. L. (2024). Use case for automated code compliance checking of accessibility rules in bim models using the ids standard. In *Proceedings of the 41st International Conference of CIB W* (Vol. 78, pp. 1-10).
[2] Shin, M. H., Jung, J. H., & Kim, H. Y. (2022). Quantitative and Qualitative Analysis of Applying Building Information Modeling (BIM) for Infrastructure Design Process. *Buildings*, *12*(9), 1476.
[3] Becerik-Gerber, B., & Rice, S. (2010). The perceived value of building information modeling in the US building industry. *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*, *15*(15), 185-201.
[4] de Marco, G., Slongo, C., & Siegele, D. (2024). Enriching building information modeling models through information delivery specification. *Buildings*, *14*(7), 2206.
[5] Pauwels, Pieter; ZHANG, Sijie; LEE, Yong-Cheol. Semantic web technologies in AEC industry: A literature overview. *Automation in construction,* v. 73, p. 145-165, 2017.
[6] Dias, D. C., Junior, G. M., & Pellanda, P. C. (2025). Critérios para verificação de modelos visando à orçamentação de obras públicas: perspectivas e desafios. *SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GESTÃO E ECONOMIA DA CONSTRUÇÃO*, *14*.
[7] Mendonça, Eduardo Alves de, "Verificação automatizada de regras de acessibilidade em modelos BIM utilizando o padrão IDS", Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Construção Civil, São Paulo, Brasil, 2026.
[8] Dias, Daiane Castro, "Gestão da informação em modelos BIM para orçamentação de obras públicas com uso do Information Delivery Specification", Dissertação de Mestrado, Instituto Militar de Engenharia, Engenharia de Defesa, Rio de Janeiro, Brasil, 2025.
[9] Eastman, C., Lee, J. M., Jeong, Y. S., & Lee, J. K. (2009). Automatic rule-based checking of building designs. *Automation in construction*, *18*(8), 1011-1033.
[10] B/555, "BS EN ISO 19650-1:2018 Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) — Information management using building information modelling — Part 1: Concepts and principles.", 2018.

12345

DO SIG AO BIM: UM PROCESSO INTEGRADO

Teresa Afonso, Vasco Leónidas, Tiago Martins,
Carla Rebelo

ptBIM

DO SIG AO BIM: UM PROCESSO INTEGRADO

Teresa Afonso [(1)], Vasco Leónidas [(2)], Tiago Martins [(3)], Carla Rebelo [(4)]

(1) BIMit | BIM Experts, Paço de Arcos
(2) BIMit | BIM Experts, Paço de Arcos
(3) NLA, Paço de Arcos
(4) NLA, Paço de Arcos

Resumo
A interoperabilidade bidirecional entre Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e BIM permite um avanço significativo na indústria AECO. Um dos principais desafios, é o facto de grande parte do trabalho feito no SIG, ter depois de ser refeito manualmente, do lado do BIM, apresentando além de um encargo adicional, a possibilidade de erro humano acrescida.
Com esta preocupação em primeiro plano, concluiu-se que para garantir um processo correto e bidirecional, a origem dos dados deve ter como ponto inicial, a base de dados GIS, tendo para tal, sido desenvolvido um plugin para Autodesk Revit (BIM), que estabelece um ciclo fechado de dados: lê diretamente tabelas e geometrias de bases PostgreSQL/PostGIS, e recria automaticamente dentro do Revit as geometrias e seus atributos, a partir da base de dados.
Após a edição dessa informação do lado do Revit, é possível devolver os dados, com as devidas alterações para a base de dados SIG, permitindo que exista uma só linguagem entre as plataformas SIG e BIM, sem qualquer dependência de exportações manuais, e evitando a existência de repetição de trabalho.
Com esta metodologia e recurso ao *plugin* BIMxSig desenvolvido para este fim, tornou-se possível reduzir o tempo despendido, minimizar drasticamente os erros e/ou falta/perda de informação, durante o processo de aglutinação da informação das duas plataformas.

1. Introdução

A convergência entre os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e a Modelação da Informação da Construção (BIM) tem sido, na última década, um dos temas centrais na digitalização da indústria da Arquitetura, Engenharia, Construção e Operações (AECO).
Enquanto o BIM se foca no detalhe do edifício, gestão dos seus componentes e respetivo ciclo de vida da infraestrutura "micro", o SIG opera numa escala "macro", gerindo o território, o planeamento urbano e as relações espaciais entre múltiplos ativos.

Tradicionalmente, estas duas realidades operam de forma independente, sendo este modo de operação fundamentalmente o resultado direto das barreiras tecnológicas e semânticas, sendo a interoperabilidade entre estes dois ambientes operacionais, alcançada através de um processo manual de troca de ficheiros estáticos (como IFC do lado do BIM, e Shapefiles ou GeoJSON do lado do SIG). Este método, embora funcional, resulta em falhas graves na ótica da integridade de dados, existindo geralmente alguma perda de dados no processo de conversão, e impossibilita também a existência de um fluxo de trabalho circular, no qual a informação está constantemente atualizada e disponível para ambas as partes. Quando um urbanista define volumes básicos numa plataforma SIG e os envia à equipa de arquitetura, estes servem apenas como referência visual. Qualquer alteração da volumetria no software BIM não é automaticamente refletida na base de dados SIG, obrigando a uma nova exportação manual para reimportação. Este ciclo gera múltiplas versões desconexas e provoca desatualização constante dos dados ao longo do projeto.
O presente artigo propõe uma metodologia que pretende estabelecer a interoperabilidade entre BIM e SIG, e tornar o processo referido acima robusto com, com uma conexão direta às bases de dados espaciais. Ao utilizar um Sistema de Gestão de Base de Dados (SGBD) relacional é possível criar uma ligação simbiótica de geometrias complexas entre o ambiente PostgreSQL/PostGIS e o Autodesk Revit. Para validar a exequibilidade deste processo, foi desenvolvido um software (add-in), responsável pela ponte de informação em tempo real, permitindo melhor compreender os ganhos de eficiência, bem como, identificar as limitações técnicas desta integração.

2. Panorama atual e Desafios da Interoperabilidade

Essencialmente foram identificados três níveis de integração BIM-SIG:

- ao nível da aplicação (ferramentas que lêem formatos nativos da outra)
- ao nível do processo (troca de ficheiros via normas abertas como IFC e CityGML)
- ao nível dos dados (servidores partilhados e bases de dados) [1].

Embora a norma CityGML tente padronizar a representação 3D da cidade e o IFC (Industry Foundation Classes) faça o mesmo para o edifício, a tradução direta entre estes formatos enfrenta barreiras semânticas e geométricas [2]. A incompatibilidade reside, frequentemente, na natureza da definição dos objetos: enquanto o BIM se baseia em entidades paramétricas volumétricas, ricas em propriedades físicas e construtivas, os sistemas SIG operam tradicionalmente com geometrias bidimensionais, extrusões 2.5D (polígonos com altura) ou malhas de superfície que representam apenas a envolvente exterior (*shell*) do edificado, carecendo da estrutura interna e do comportamento relacional típicos dos modelos BIM.
Existiram já algumas tentativas de unificação com principal foco na conversão ETL (Extract, Transform, Load) utilizando ferramentas visuais como o FME (Feature Manipulation Engine), no entanto, estes processos pecam por serem habitualmente unidirecionais [3][4]. O desafio que este trabalho endereça é a bidirecionalidade: como permitir que o BIM não seja apenas um visualizador de dados SIG, mas um editor ativo desses mesmos dados, devolvendo-os estruturados à base de dados PostGIS.

3. Metodologia

A abordagem escolhida teve como foco uma arquitetura centrada nos dados (base de dados geoespaciais), em detrimento da arquitetura baseada em ficheiros. O repositório central escolhido, foi o PostgreSQL com a extensão espacial PostGIS [5], devido à sua robustez e conformidade com as normas do OGC (Open Geospatial Consortium) [6]. O fluxo de trabalho proposto compreende três etapas fundamentais:

- Mapeamento de dados e geometria - Definição da tradução de "Sólidos" BIM para geometrias espaciais e a correspondência de campos de texto (como os "Comentários") para colunas da base de dados
- Desenvolvimento do Conector - Criação de uma ferramenta capaz de operar dentro do ambiente BIM, comunicando via linguagem SQL direta com a base de dados geoespacial.
- Gestão de Coordenadas - Resolução do conflito entre o sistema de coordenadas terrestre e o sistema cartesiano local do projeto
- Importação de informação para o Autodesk Revit e Exportação de informação para a Base de Dados

A Figura 1 ilustra a arquitetura conceptual do sistema, onde a ferramenta desenvolvida em c#, atua como interface de manipulação no Autodesk Revit, enquanto a estrutura de dados relacional assegura a integridade e persistência dos dados.

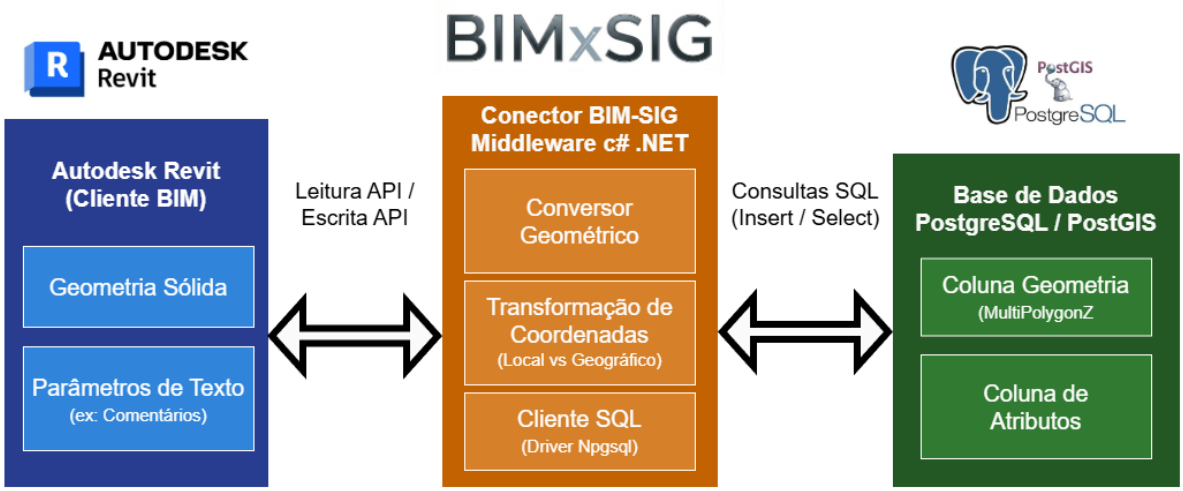


Figura 1: Arquitetura do sistema: Base de Dados Centralizada com conector bidirecional.

4. Desenvolvimento Tecnológico e Implementação

Para a viabilidade desta metodologia houve a necessidade de superar desafios técnicos específicos relacionados com a natureza distinta dos motores gráficos e das estruturas de dados das duas plataformas.

4.1 Tradução de Geometria

Um dos principais obstáculos reside na topologia devido à diferença de interpretação de sólidos pelas duas tecnologias, para superá-lo, durante a fase de exportação, o sistema decompõe os sólidos do modelo nas suas faces constituintes. Estas faces são trianguladas e convertidas em polígonos textuais, constituindo uma superfície poliédrica na base de dados. Na importação, o sistema lê os vértices da base de dados e utiliza as rotinas de criação de formas diretas da Interface de Programação de Aplicações (API) do programa BIM [7] para reconstruir o volume, resultando num modelo genérico, sendo este tipo de volume leve e adequado para representar contexto urbano ou volumetrias conceptuais.

4.2 Sincronização de Informação Alfanumérica

Embora crucial, a geometria é apenas um dos fatores nesta equação SIG e BIM, a informação alfanumérica/ atributos é também vital. A fim de garantir que a mesma não se perde, foi implementada uma rotina específica para o mapeamento do parâmetro nativo "Comentários" (Comments) do Revit com um campo de texto da base de dados, funcionando este como um canal de comunicação direta entre o BIM e o SIG. Quando um técnico, no ambiente BIM, insere uma observação no campo "Comentários" de um volume (ex.: "Proposta de demolição" ou "Rever altura máxima"), esta informação é gravada numa coluna de texto dedicada na base de dados PostGIS aquando da sincronização. Inversamente, observações inseridas por gestores territoriais na base de dados SIG são automaticamente preenchidas no campo "Comentários" do objeto BIM quando este é importado ou atualizado.

4.3 Estratégia de Filtragem Espacial

Para assegurar a viabilidade operacional do sistema e evitar a sobrecarga de memória no ambiente BIM, foi implementado um mecanismo de "carregamento a pedido" (lazy loading) baseado em índices espaciais.

O conector não transfere a totalidade da base de dados. Em vez disso, o utilizador define no ecrã uma janela de seleção (área de interesse), cujas coordenadas mínimas e máximas (Xmin ,Ymin,Xmax,Ymax) são enviadas para o servidor.

A consulta SQL gerada utiliza a função ST_Intersects do PostGIS para filtrar apenas as geometrias que intersetam essa caixa envolvente (bounding box). Este processo é otimizado através do índice espacial GIST (Generalized Search Tree) previamente criado na tabela, permitindo que a triagem de milhares de edifícios seja efetuada em tempo real, retornando ao modelador apenas o subconjunto de dados relevante para a tarefa em mãos.

4.4 O Desafio das Coordenadas

O BIM tem por base o plano cartesiano local na visualização dos objetos, enquanto o SIG visualiza a informação com base em sistemas de coordenadas retangulares ou projetadas, associados à representação da superfície terrestre com base numa projeção cartográfica e no posicionamento da superfície matemática do elipsoide relativamente à superfície equipotencial do nível médio do mar. A solução implementada realiza a transformação de coordenadas em tempo real, convertendo o sistema cartesiano local do Revit para o sistema de referência geográfico. Este processo aplica uma matriz de transformação que combina a translação da origem do modelo para as coordenadas reais do Ponto de Topografia (Survey Point) e a rotação necessária para alinhar o Norte de Projeto com o Norte Geográfico. O BIMxSIG calcula a matriz de transformação inversa, garantindo que um edifício modelado na cota local do projeto

aparece na cota correta e nas coordenadas projetadas exatas no sistema de informação geográfica. A Tabela 1 exemplifica o mapeamento realizado entre as duas plataformas.

Tabela 1: Tipo de atributos entre a plataforma BIM e PostgreSQL/PostGIS

Propriedade / Componente BIM	**Tipo de dado na Tabela da Base de dados**	**Descrição/função**
ID do Elemento (Inteiro)	Primary Key (Inteiro)	Assegura a distinção exclusiva de cada objeto
Nome / Categoria	Texto (Text)	Identificação da família ou tipologia do objeto.
Geometria Sólida	Geometria (MultiPolygonZ)	Representação espacial tridimensional com suporte a índice espacial
Parâmetro "Comentários"	Texto (JSONB)	Canal de comunicação bidirecional

5. Casos de Uso e Validação Experimental

Para validar a ferramenta desenvolvida e a metodologia proposta, definiu-se um cenário prático de Estudo de Viabilidade Urbanística. Este cenário foi escolhido pela sua dependência crítica tanto do contexto pré-existente (domínio do SIG) como da proposta volumétrica de novos edifícios (domínio do BIM).

5.1 Definição do Cenário de Teste

O teste simulou uma operação de loteamento numa zona urbana consolidada. O conjunto de dados inicial residia numa base de dados PostgreSQL/PostGIS, contendo a geometria simplificada (LOD 100) do edificado envolvente e os limites da parcela de intervenção.
A tabela da base de dados foi estruturada com colunas para geometria (geom), identificador único (gid), tipologia de uso (uso) e um campo de observações (comentarios). O objetivo do teste consistiu em:

- Importar o contexto urbano para o ambiente BIM (Autodesk Revit)
- Modelar uma nova proposta volumétrica para a parcela vazia
- Inserir dados não-geométricos (índices urbanísticos) na proposta
- Exportar a nova solução para a base de dados SIG, garantindo a integridade dos dados

5.2 Execução do Fluxo de Trabalho

O processo de validação decorreu em quatro fases distintas:

Fase 1: Importação do Contexto (SIG para BIM)
Através da interface do complemento desenvolvido, o utilizador selecionou a área de interesse. O algoritmo de importação leu os registos da base de dados PostGIS e reconstruiu os edifícios existentes dentro do ambiente de modelação.
Observou-se que a geometria foi gerada corretamente como objetos DirectShape na categoria "Modelos Genéricos", respeitando as coordenadas transformadas para o sistema local do projeto.

Fase 2: Modelação e Enriquecimento de Dados (BIM)
Sobre o contexto importado, modelou-se um novo volume de 5 pisos na parcela vazia. Ao contrário dos elementos importados (que servem de contexto), este novo elemento foi criado como uma "Massa" nativa do Revit.
No parâmetro de instância "Comentários", foi inserida a anotação: "Proposta A - Cércea Máxima 15m - Uso Habitacional".

Fase 3: Sincronização Bidirecional (BIM para SIG)
Ao acionar o comando de exportação, o sistema identificou o novo volume criado. O algoritmo converteu a geometria sólida numa representação WKT (Well-Known Text) compatível com SQL e extraiu o conteúdo do parâmetro "Comentários".
A instrução enviada para a base de dados foi um INSERT geométrico acompanhado pelos atributos alfanuméricos, sem necessidade de criar ficheiros intermédios.

Fase 4: Verificação no SIG
Para confirmar o sucesso da operação, a base de dados foi consultada através de um software SIG desktop (QGIS). Verificou-se que a nova volumetria aparecia perfeitamente integrada no cadastro existente e, crucialmente, que ao interrogar o objeto, a nota "Proposta A..." estava presente na tabela de atributos.

5.3 Avaliação Comparativa dos Fluxos de Trabalho

A metodologia de validação baseou-se numa análise comparativa direta entre dois fluxos de trabalho distintos aplicados ao mesmo conjunto de dados de teste. O primeiro fluxo utilizou a conexão direta à base de dados via ferramenta desenvolvida, enquanto o segundo replicou o método tradicional de exportação baseada em ficheiros (IFC) com posterior importação manual em ambiente SIG. Para esta avaliação, definiram-se como indicadores de desempenho a fidelidade geométrica, a persistência de atributos alfanuméricos e a eficiência operacional do processo de sincronização.
Após a execução dos testes, verificou-se que a integridade geométrica se manteve intacta no método proposto, superando as simplificações de malha frequentes na conversão de ficheiros. Contudo, o resultado mais relevante observou-se na eficácia da transmissão de dados não geométricos. Enquanto no método tradicional as anotações e parâmetros de instância frequentemente se perdem ou ficam alojados em estruturas de dados de difícil acesso, a conexão direta garantiu a leitura imediata e bidirecional do campo "Comentários", permitindo uma comunicação fluida entre as equipas. Adicionalmente, registou-se uma eliminação de erros associados a ficheiros corrompidos ou versões desatualizadas, garantindo que tanto o modelo BIM como a base de dados geoespacial partilhassem, de forma contínua, a mesma fonte de informação.

6. Discussão

Este estudo demonstra que a integração ao nível da base de dados é superior à troca de ficheiros para fluxos de trabalho que exijam uma interação humana constante.

6.1 Limitações Técnicas

A principal limitação identificada reside na capacidade de processamento gráfico do software BIM quando confrontado com grandes volumes de dados urbanos. O motor do Revit, otimizado para o detalhe construtivo, demonstrou uma degradação de desempenho exponencial ao tentar importar a geometria de áreas extensas sem restrições.

A validação experimental confirmou que a estratégia de filtragem espacial detalhada na secção 4 é, não apenas uma otimização, mas um requisito obrigatório para a viabilidade do sistema. Sem o mecanismo de "carregamento a pedido" baseado na interseção de coordenadas (ST_Intersects), a interoperabilidade torna-se inoperante para escalas superiores a um quarteirão. Ainda assim, é importante notar que, mesmo com filtros ativos, a densidade excessiva de polígonos na área visível pode comprometer a fluidez da navegação, exigindo do utilizador uma gestão criteriosa da janela de importação.

6.2 Integridade da Informação e Controlo de Acesso

A capacidade de escrita direta na base de dados, embora essencial para a agilidade do processo, introduz um desafio crítico de governança. Num ambiente colaborativo à escala urbana (Gémeo Digital), existe o risco de um utilizador individual alterar ou eliminar acidentalmente elementos que não são da sua responsabilidade, como edificado vizinho ou infraestruturas públicas.

Para mitigar este risco em cenários reais, é imperativo que a camada de software seja complementada por políticas de Controlo de Acesso Baseado em Funções (RBAC) ao nível do Sistema de Gestão de Bases de Dados.

Tecnicamente, isto traduz-se na configuração de permissões SQL granulares: o projetista deve possuir privilégios de escrita (INSERT/UPDATE) estritamente confinados à sua parcela de intervenção, enquanto todo o contexto envolvente deve ser servido com permissões de "apenas leitura" (SELECT), garantindo a integridade cadastral global.

6.3 Impacto no Setor AECO e Perspetivas de Evolução

O desenvolvimento desta ferramenta estabelece avanços significativos na interoperabilidade entre as plataformas BIM e SIG, constituindo um contributo relevante para a otimização do funcionamento interno de empresas de arquitetura e planeamento urbano, independentemente da sua dimensão.

A arquitetura modular do sistema permite a sua expansão futura para outras disciplinas além da edificação, como o mapeamento de redes de infraestruturas. Neste contexto, parâmetros técnicos como "material" ou "diâmetro" podem ser mapeados de forma análoga ao parâmetro "Comentários" testado neste estudo.

Esta abordagem valida a criação de fluxos de trabalho mais ágeis, onde a atualização da informação territorial deixa de ser um processo moroso de submissão estática de ficheiros,

passando a ser uma sincronização de dados validada e auditável, reduzindo o tempo de resposta entre a conceção do projeto e a sua integração no contexto urbano.

7. Conclusões

A Embora a fronteira entre o BIM e o SIG se apresente cada vez mais difusa, as práticas convencionais persistem na dependência de trocas de ficheiros estáticos, perpetuando a fragmentação da informação. O presente trabalho demonstrou a viabilidade técnica de superar esta limitação através do desenvolvimento de uma tecnologia intermédia de conexão direta a bases de dados geoespaciais.
Os resultados obtidos validaram a metodologia de ciclo fechado, evidenciando não apenas a precisão na reconstrução geométrica, mas, crucialmente, a eficácia na transmissão de dados qualitativos, como demonstrado pelo mapeamento bidirecional do parâmetro "Comentários". Esta abordagem permitiu reduzir o tempo de processamento e mitigar o erro humano associado à redundância de dados.
Conclui-se que a integração proposta transforma a interoperabilidade de um evento pontual de exportação num processo contínuo de sincronização, constituindo um passo fundamental para a operacionalização de Gémeos Digitais urbanos dinâmicos e fiáveis.

Referências

[1] F. Biljecki e J. Stoter, "Exploring LOD generation workflows for 3D city models," ISPRS International Journal of Geo-Information, vol. 6, n.º 6, p. 165, 2017.
[2] T. Kang e J. Hong, "A study on software architecture for effective BIM/GIS-based facility management data integration," Automation in Construction, vol. 54, pp. 25-38, 2015. doi: 10.1016/j.autcon.2015.03.019.
[3] Donkers, S., Ledoux, H., Zhao, J., & Stoter, J. (2016). Automatic generation of citygml lod3 building models from ifc models. Transactions in GIS, 20(4), 541-564
[4] J. Zhu, X. Wang, P. Wang, e Z. Wu, "Integration of BIM and GIS: Geometry from IFC to shapefile using open-source technology," Automation in Construction, vol. 102, pp. 105-119, 2019.
[5] P. Ramsey, "PostGIS Reference Manual," PostGIS Project Steering Committee, 2024.
[6] Open Geospatial Consortium, "OGC Simple Features Access - Part 1: Common Architecture," OGC 06-103r4, 2011.
[7] Autodesk, "Revit API Developers Guide," Autodesk Inc., San Rafael, CA, 2024.

12345

MQT_BUILDER: AUTOMAÇÃO DE MAPAS DE QUANTIDADES MULTIPLATAFORMA EM FLUXOS BIM

Paulo Rodrigues, João Moura

ptBIM

MQT_BUILDER: AUTOMAÇÃO DE MAPAS DE QUANTIDADES MULTIPLATAFORMA EM FLUXOS BIM

Paulo Rodrigues [(1)], João Moura [(1)]

(1) Quadrante Engenharia e Consultoria, S.A.

Resumo
O artigo apresenta o MQT_builder como parte de um Ambiente Integrado de Gestão de Informação BIM, concebido para ultrapassar a fragmentação tradicional dos processos de medição e controlo económico. A proposta centra-se na criação de uma base de dados comum que integra projetos, fases, zonas, medições, análises e métricas operacionais, suportando múltiplas aplicações num ecossistema digital unificado e assente em princípios Open BIM.
O sistema garante interoperabilidade através de modelos Revit e IFC, promovendo a independência tecnológica e a rastreabilidade por elemento.
Cada medição deixa de ser um valor isolado para se tornar um registo auditável, associado a método, origem e identificadores únicos.
A normalização através do SECCLasS e de bibliotecas estruturadas com templates por tipologia de projeto reforça a consistência, comparabilidade e eficiência operacional. O sistema encontra-se em evolução contínua, incorporando melhorias sugeridas pelos utilizadores e preparando integrações futuras como gestão de custos e inteligência artificial.
Conclui-se que o verdadeiro valor do BIM reside na estruturação e consolidação de dados ao longo do tempo, condição essencial para suportar análise avançada, previsão e decisão técnica fundamentada.

1. Introdução

Da modelação ao ambiente integrado de gestão de informação BIM representa a transição de uma visão centrada na geometria para uma abordagem orientada à estruturação e governação de dados. A maturidade BIM evoluiu significativamente nas últimas décadas, permitindo transformar a modelação tridimensional num processo colaborativo estruturado. No entanto, a quantificação e o controlo económico continuam, em muitas organizações, a depender de processos paralelos e fragmentados.
Apesar de os modelos BIM conterem informação suficiente para suportar medições automáticas, o processo de quantificação permanece frequentemente fragmentado, com perda de ligação ao modelo após exportação para folhas de cálculo. Esta desconexão dificulta a

comparação entre projetos, compromete a rastreabilidade e limita a acumulação de conhecimento ao nível organizacional.
Neste contexto, torna-se essencial integrar a quantificação numa infraestrutura comum de dados, alinhada com projetos, fases e métricas. É neste enquadramento que surge o MQT Builder, como componente de um ecossistema Open BIM orientado à gestão integrada de informação.
Se o BIM pretende ser um sistema integrado de informação, a quantificação não pode ser periférica. Deve fazer parte da mesma infraestrutura que suporta projetos, fases, modelos e métricas, integrada numa base de dados comum e interoperável.
Foi neste contexto – o da passagem da modelação isolada para um verdadeiro ambiente integrado de gestão de informação BIM – que surgiu o desenvolvimento de um sistema estruturado, no qual o MQT Builder assume o papel de motor de quantificação dentro de um Ecossistema Open BIM.

2. Arquitetura do Ecossistema Digital

O ecossistema digital desenvolvido assenta numa base de dados central, concebida como núcleo estruturante de múltiplas aplicações interligadas. Esta infraestrutura garante coerência transversal, rastreabilidade e governação estruturada da informação ao longo do ciclo de vida dos projetos. A base de dados organiza-se da seguinte forma:

Tabela 1: Organização segundo as entidades e componentes

Categoria	Elementos Estruturados	Objetivo Operacional
Estrutura Organizacional	Projetos, Fases, Zonas, Especialidades, Responsáveis Técnicos	Contextualização técnica e hierárquica da informação
Estrutura Técnica	Bibliotecas WBS por especialidade e tipologia de projeto	Normalização e reutilização de critérios
Quantificação	Medições, BoQ's, histórico de versionamentos	Rastreabilidade e controlo evolutivo
Análise Técnica	Resultados de análises de compliance	Validação de standards internos
Métricas	Indicadores operacionais e dados para estimativas	Suporte à decisão e monitorização

Para além do MQT Builder — que desempenha o papel de motor de quantificação — o ecossistema integra outras aplicações que utilizam a mesma base de dados:

- Sistema de gestão de projetos, fases e zonas;
- Aplicação de análise de compliance segundo standards internos;
- Monitorização e métricas em Power BI para departamentos e coordenação BIM;
- Roadmap para aplicação de Cost Management;
- Roadmap para ligação dinâmica a bases externas (ex.: WBS buildingSMART Portugal).

O MQT Builder não funciona como ferramenta isolada, mas como componente de uma infraestrutura transversal, interoperável e agnóstica de software, reforçando uma abordagem sistémica à gestão integrada de informação conhecida por iBIM.



Figura 1: Arquitetura do ecossistema da Base de Dados iBIM.

3. Open BIM como Princípio Estruturante

O sistema foi concebido desde a sua génese segundo os princípios de **Open BIM**, não apenas como uma opção técnica, mas como um posicionamento estratégico. Open BIM não significa apenas utilizar o formato IFC; significa estruturar processos, dados e métodos de forma a garantir interoperabilidade, transparência e independência tecnológica ao longo de todo o ciclo de vida do projeto.

A integração do MQT Builder não depende exclusivamente de um software proprietário nem de um ecossistema fechado. A plataforma suporta medições provenientes de: 1- Modelos Revit; 2 - Modelos IFC exportados por diferentes softwares BIM.

Esta abordagem permite que a ferramenta se integre num ambiente verdadeiramente colaborativo, onde diferentes disciplinas — arquitetura, estruturas, instalações MEP — podem trabalhar com ferramentas distintas sem comprometer a consistência da informação.

A utilização do formato IFC (Industry Foundation Classes), promovido pela buildingSMART International, assume aqui um papel central. O IFC funciona como um modelo de dados neutro, estruturado e extensível, permitindo que a informação seja partilhada e validada independentemente da aplicação de origem. Ao adotar este padrão aberto, o sistema beneficia de:

- **Independência tecnológica**, evitando dependência de um único fornecedor
- **Integração multidisciplinar**, agregando diferentes especialidades num único projeto
- **Compatibilidade** com múltiplos softwares BIM, presentes no mercado AECO
- **Sustentabilidade** a longo prazo, assegurando legibilidade futura dos dados

Mais do que uma questão de interoperabilidade técnica, o Open BIM reforça a robustez do processo. A rastreabilidade por GUID nos modelos IFC permite identificar de forma inequívoca cada elemento, mantendo a ligação entre modelo, medição e registo histórico. Esta identificação única garante que as quantidades extraídas permanecem associadas ao objeto original, mesmo quando o modelo evolui.
Desta forma, o Open BIM deixa de ser apenas um conceito teórico e torna-se um princípio estruturante do sistema: os dados são abertos, auditáveis e portáveis. O MQT Builder posiciona-se, assim, como uma ferramenta preparada para ambientes colaborativos complexos, onde a interoperabilidade não é um extra, mas um requisito fundamental.

4. MQT_builder: Método, Multi-Modelo e Rastreabilidade

No MQT_builder, cada quantidade registada deixa de ser um simples valor numérico e passa a estar associada a um método de medição claramente definido. Esse método especifica, de forma explícita, o modelo de origem dos dados, os filtros aplicados, os parâmetros considerados e o tipo de medição utilizado — que pode ser manual, por fórmula, automática via Revit ou automática via IFC.
O sistema permite ainda que, dentro do mesmo BoQ, sejam combinadas medições provenientes de múltiplos modelos, assegurando flexibilidade e coerência na consolidação da informação.
Para cada medição realizada, ficam registados diversos elementos que garantem total rastreabilidade: a data de execução, o utilizador responsável, o tipo de medição, o método aplicado, bem como os identificadores dos elementos associados — incluindo os IDs dos elementos Revit e os GUIDs dos elementos IFC.
Desta forma, cada valor deixa de ser apenas um número agregado e transforma-se num registo auditável, transparente e verificável. No MQT Builder, não se trata apenas de recalcular quantidades, mas de validar a consistência técnica da informação ao longo de todo o processo.

4.1 Comparação com abordagens existentes

Existem no mercado diversas soluções para extração de quantidades a partir de modelos BIM, frequentemente integradas em softwares de autoria ou plataformas de model checking. Estas abordagens focam-se, em geral, na obtenção pontual de quantidades, sem garantir a sua integração numa estrutura de dados corporativa nem a rastreabilidade histórica entre projetos.
O MQT Builder distingue-se por operar como componente de um ecossistema integrado de gestão de informação, onde a medição é tratada como um processo contínuo, estruturado e acumulativo. Esta abordagem permite não só automatizar a extração de quantidades, mas também suportar a sua consolidação, análise e reutilização ao longo do tempo, contribuindo para uma gestão mais eficiente e informada no contexto AECO.

5. Biblioteca Estruturadas e Normalização

Todos os artigos encontram-se classificados segundo o sistema **SECClasS**, garantindo uma estrutura comum entre especialidades e permitindo a comparabilidade entre projetos, bem como a preparação para análise de métricas operacionais.
A adoção de uma classificação consistente transforma as bibliotecas de artigos num sistema estruturado de conhecimento técnico, no qual cada item se encontra enquadrado numa hierarquia normalizada, passível de ser reutilizada, analisada e consolidada ao longo do tempo.
Para além da classificação, a biblioteca integra templates parametrizados por tipologia de projeto (habitação, hospitalar, industrial ou infraestruturas), incorporando "RuleSets" de medição associados a cada artigo. Estes incluem critérios de quantificação, fórmulas e parâmetros relevantes, permitindo que os utilizadores partam de uma base previamente estruturada e validada.
Esta abordagem reduz significativamente a necessidade de configuração manual dos mapas de quantidades, aumentando a consistência dos resultados e diminuindo a variabilidade entre técnicos. O processo de medição passa, assim, de uma atividade predominantemente operacional para uma função de validação técnica e análise crítica.
O sistema suporta ainda a importação de bibliotecas externas, como o WBS do IP, e prevê a ligação a bases de dados externas no âmbito do roadmap estratégico, reforçando a interoperabilidade e atualização contínua do ecossistema.

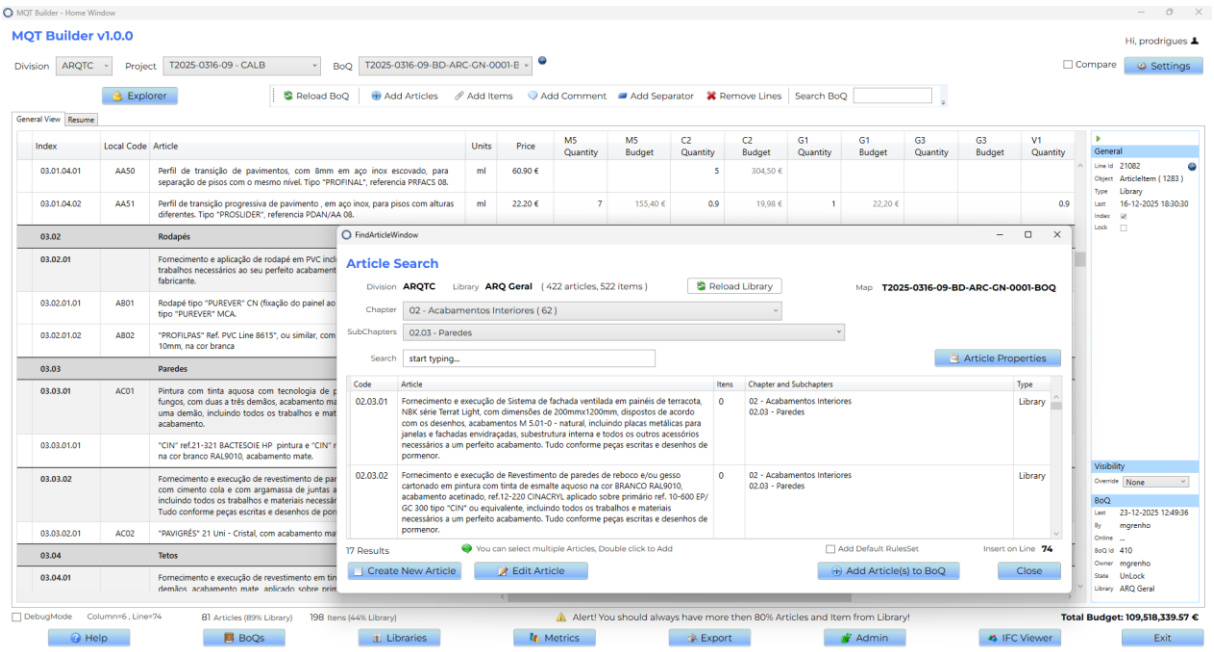


Figura 2: Interface da construção do BoQ e biblioteca de busca criação de artigos.

6. Consolidação Operacional e Evolução Contínua

O sistema encontra-se atualmente em utilização mandatória e com capacidade de escalabilidade transversal às diferentes divisões. A sua adoção consolidou uma base de dados comum, onde não apenas as quantidades são registadas, mas também os resultados das análises de compliance dos modelos. Este ecossistema integrado permite que verificações técnicas e medições coexistam na mesma estrutura de informação, reforçando a coerência e a rastreabilidade global do processo. Até ao momento, já se encontram registadas centenas de análises estruturadas, refletindo maturidade operacional e utilização sistemática.

A adoção do sistema permitiu já observar ganhos operacionais mensuráveis. Em projetos piloto, verificou-se uma redução estimada do tempo de elaboração de MQT entre 30% e 50%, associada à reutilização de templates estruturados e automatização dos processos de medição. Paralelamente, a rastreabilidade por elemento e a normalização dos critérios contribuíram para a diminuição de inconsistências entre revisões e entre especialidades.

Num caso aplicado a um projeto de habitação coletiva, foi possível consolidar medições de arquitetura e estruturas num único articulado, reduzindo significativamente o esforço de coordenação e permitindo identificar variações entre versões do modelo de forma imediata através da rastreabilidade por GUID.

O MQT Builder encontra-se em desenvolvimento contínuo, alimentado diretamente pela experiência prática dos utilizadores. Cada novo utilizador traz consigo sugestões, necessidades específicas e oportunidades de melhoria que são integradas num backlog estruturado de evolução funcional. Esta dinâmica transforma a ferramenta num sistema vivo, que cresce de forma orgânica e alinhada com a realidade operacional das equipas.

Nos últimos desenvolvimentos, foram implementadas interações entre linhas de artigos distintas, permitindo estabelecer relações lógicas e dependências entre diferentes componentes do mapa de medições. Paralelamente, foi aprofundada a capacidade de associar múltiplos modelos ao mesmo projeto, incluindo a possibilidade de medir por zonas específicas — uma funcionalidade particularmente relevante em projetos de maior escala ou com fases construtivas diferenciadas. Esta medição por zona reforça o controlo técnico e melhora a capacidade de análise comparativa interna.

No horizonte evolutivo encontra-se ainda a integração de uma matriz de preços de construção. Esta funcionalidade permitirá apoiar os Project Managers na obtenção de estimativas de custo mais realistas, com base nas quantidades medidas e em referências atualizadas de mercado. A integração de preços tornará possível acompanhar de forma mais estruturada as flutuações constantes dos materiais e sistemas da Construção Civil, aproximando a medição técnica da gestão financeira do projeto.

São realizadas formações regulares às equipas para:

- Garantir domínio das funcionalidades existentes
- Apresentar novas funcionalidades
- Consolidar boas práticas estruturais

A evolução tecnológica é, assim, acompanhada por capacitação contínua. A consolidação operacional não resulta apenas da robustez do sistema, mas da combinação entre desenvolvimento iterativo, escuta ativa dos utilizadores e investimento permanente na qualificação das equipas.

7. Desafios de implementação

A implementação revelou diferenças significativas na construção de mapas entre divisões, evidenciando abordagens distintas que, até então, coexistiam de forma relativamente autónoma. Cada departamento desenvolvia os seus próprios mapas em folhas de Excel, com lógicas internas, nomenclaturas e critérios de medição adaptados às suas necessidades específicas. Essa flexibilidade permitia respostas rápidas e personalizadas, mas também gerava inconsistências estruturais difíceis de detetar e ainda mais difíceis de consolidar.

A transição para uma plataforma baseada numa lógica de base de dados implicou uma mudança profunda na forma de trabalhar. Deixou-se de operar com ficheiros individuais e estruturas informais, para passar a um sistema mais regrado, normalizado e interligado, onde regras, métodos de medição, parâmetros e classificações precisam de estar claramente definidos e partilhados. Como é natural neste tipo de transformação, a formalização trouxe maior rigor, mas exigiu também um esforço de alinhamento conceptual e organizacional entre equipas.

A consolidação de uma biblioteca base consistente revelou-se, por isso, um dos maiores desafios. Foi necessário harmonizar critérios, uniformizar terminologias e estabelecer princípios comuns de medição e estruturação da informação. A plataforma tornou visíveis diferenças que antes estavam dispersas em múltiplos ficheiros e versões, funcionando quase como um "espelho" das divergências internas existentes.

Apesar das exigências iniciais de adaptação, um dos aspetos mais positivos foi a facilidade de adoção por novos colaboradores. Ao entrarem já num sistema estruturado, com regras claras e métodos definidos, conseguem integrar-se rapidamente, compreendendo a lógica global sem depender de práticas informais ou conhecimento tácito acumulado em folhas de cálculo individuais.

Para além dos desafios técnicos, a implementação implicou uma transformação organizacional relevante. A transição de processos descentralizados para uma lógica centralizada e normalizada foi, em alguns casos, percecionada como perda de autonomia pelas equipas. A adoção exigiu não apenas capacitação técnica, mas também alinhamento metodológico e cultural. O papel dos key users e BIM leaders revelou-se determinante enquanto facilitadores da mudança, promovendo a transição entre práticas informais baseadas em folhas de cálculo e um sistema estruturado orientado a dados.

8. Roadmap Estratégico

O roadmap estratégico projeta a evolução do sistema numa trajetória de maturidade tecnológica e organizacional. As principais etapas incluem: (i) aplicação externa de gestão de preços; (ii) utilização analítica avançada da classificação SECClasS; (iii) ligação a bases de dados externas; (iv) integração de APIs adicionais; e (v) desenvolvimento de funcionalidades baseadas em inteligência artificial.

No âmbito da integração com AI, prevê-se o desenvolvimento de modelos preditivos suportados em históricos de medições, classificações e tipologias de projeto. Entre as aplicações potenciais incluem-se a previsão de quantidades em fases preliminares, a deteção automática de desvios entre versões e o apoio à estimativa de custos.

A fiabilidade destes modelos depende diretamente da qualidade e consistência dos dados de base, assegurada através da normalização transversal, rastreabilidade por GUID e definição

explícita dos métodos de medição. Neste contexto, a preparação para a AI resulta da própria maturidade da infraestrutura de dados desenvolvida.

Paralelamente, a integração de uma aplicação de gestão de preços permitirá reforçar a ligação entre medição e controlo económico, enquanto a exploração analítica do SECClasS viabiliza a geração de indicadores comparativos e métricas de desempenho entre projetos.
Esta evolução consolida a transição de um sistema de quantificação para uma plataforma de suporte à decisão, preparada para incorporar capacidades analíticas avançadas no contexto da transformação digital do setor AECO.

9. Enquadramento iBIM

O ambiente desenvolvido alinha-se plenamente com estes princípios ao integrar projetos, modelos, quantidades, análises de compliance e métricas numa base de dados comum, estruturada e evolutiva. A informação deixa de estar fragmentada por ficheiros ou departamentos e passa a constituir um ativo estratégico, preparado para exploração analítica e apoio à decisão.
Neste contexto, importa destacar o papel da equipa **CEBIM – Centro de Excelência BIM**, cuja missão passa precisamente pelo desenvolvimento e consolidação de projetos estruturantes como o MQT Builder, entre outros. A atuação do CEBIM não se limita à implementação de ferramentas, mas centra-se na transformação dos processos, promovendo uma cultura digital orientada para dados, normalização e inovação contínua.
O CEBIM assume, assim, uma dedicação especial a este tipo de projetos, posicionando-se como catalisador interno da transformação digital no domínio AECO. A consolidação de ambientes estruturados de dados é vista como condição essencial para evoluir de um BIM operacional para um BIM verdadeiramente inteligente — onde a informação não serve apenas para documentar o projeto, mas para fundamentar decisões técnicas, económicas e estratégicas.
Embora desenvolvido em contexto organizacional específico, o modelo conceptual apresenta potencial de adaptação a diferentes contextos AECO. A utilização de princípios Open BIM, alinhamento com ISO 19650 e compatibilidade com estruturas classificativas como Uniclass/SECClasS permite a sua integração em frameworks internacionais de gestão de informação.
A separação entre lógica de dados e ferramentas de autoria reforça a escalabilidade do sistema, possibilitando a sua aplicação em organizações com diferentes níveis de maturidade BIM e em ambientes colaborativos multidisciplinares.

10. Conclusão

Os resultados obtidos em contexto operacional demonstram que a implementação de um ambiente integrado de gestão de informação BIM, com o MQT Builder como motor de quantificação, permite ganhos concretos ao nível da eficiência produtiva, redução de retrabalho e melhoria da consistência entre especialidades.
A consolidação de uma base de dados estruturada, suportada por classificação normalizada, rastreabilidade por elemento e integração multi-modelo, constitui um fator determinante para a

evolução da medição de um processo fragmentado para um sistema coerente e acumulativo de informação.
Neste contexto, a maturidade alcançada permite não apenas melhorar a qualidade das medições, mas também criar as condições necessárias para exploração analítica avançada e desenvolvimento futuro de modelos preditivos.

Referências

[1] LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil, "Normas de Medição na Construção." Lisboa: LNEC, várias edições.
[2] A. Mendez et al., "Projeto SECCLASS – O desenvolvimento de um sistema de classificação da construção com componente de sustentabilidade adaptado ao BIM," in *4º Congresso Português de Building Information Modelling (ptBIM)*, vol. 2, Universidade do Minho, 2021.
[3] buildingSMART Portugal, "Work Breakdown Structure (WBS) – Grupo de Trabalho." Lisboa: buildingSMART Portugal, documentação técnica e entregáveis em desenvolvimento.
[4] International Organization for Standardization (ISO), "ISO 19650-1: Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) — Information management using BIM — Part 1: Concepts and principles." Geneva: ISO, 2018.
[5] International Organization for Standardization (ISO), "ISO 19650-2: Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) — Information management using BIM — Part 2: Delivery phase of the assets." Geneva: ISO, 2018.
[6] buildingSMART International, "ISO 16739: Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing in the construction and facility management industries." Geneva: ISO, 2013 (and subsequent revisions).
[7] NBS (National Building Specification), "Uniclass 2015 – Unified classification for the construction industry." Newcastle upon Tyne: NBS, 2015 (ongoing updates).

12345

O PAPEL DO BIM NO DESENVOLVIMENTO DE ESPAÇOS COMUNS DE DADOS PARA A CONSTRUÇÃO

Mário Coelho, José C. Lino, Isabel Borges,
António Salvado

ptBIM

O PAPEL DO BIM NO DESENVOLVIMENTO DE ESPAÇOS COMUNS DE DADOS PARA A CONSTRUÇÃO

Mário Coelho [(1)], José C. Lino [(2)], Isabel Borges [(3)], António Salvado [(4)]

(1) Instituto CCG/ZGDV, Guimarães, ID ORCID: 0000-0002-6356-6963
(2) buildingSMART Portugal, Porto, ID ORCID: 0000-0002-1227-600X
(3) TICE.PT, Aveiro, Portugal, ID ORCID: 0009-0005-5311-1892
(4) TICE.PT, Aveiro, Portugal

Resumo
Na era da digitalização e da inteligência artificial em que vivemos, os dados são reconhecidamente o novo ouro. Reconhecendo a sua importância, a estratégia Europeia para os dados foi lançada em 2020 com vista a delinear a forma como a Europa se devia preparar para tirar partido desta sua riqueza. Uma das peças fundamentais neste processo seriam os Espaços Comuns de Dados, existindo desde então várias iniciativas nesse sentido em diferentes setores. Apesar da maioria dos Espaços de Dados se encontrar em desenvolvimento, já existem alguns em operação, como os da Saúde e Mobilidade.
Nos últimos anos, impulsionada pela crescente digitalização em curso, começou a ser discutida a criação de Espaços de Dados no setor da construção. Sendo o *Building Information Modeling* (BIM) a metodologia que governa a gestão da informação na construção, é fácil concluir que não será possível pensar em Espaço de Dados na construção sem envolver o BIM, as suas regras e os seus processos. Por sua vez, sendo os Espaços de Dados parte da estratégia Europeia, é também fácil de concluir que o BIM terá de se adaptar a esse contexto.
No presente trabalho, apresenta-se a iniciativa Digital Ter-X 2050, um projeto farol Gaia-X que tem vindo a trabalhar o tema dos Espaços de Dados na construção. A discussão dos aspetos relacionados com a ligação entre Espaço de Dados e BIM tem sido liderada por alguns capítulos da buildingSMART, sendo o Português um deles. Os principais objetivos, os trabalhos já realizados, as metas já alcançadas, mas, sobretudo, o tanto que ainda há para fazer, são aqui abordados.

1. Introdução

Em fevereiro de 2020, a Comissão Europeia definiu a Estratégia Europeia para os Dados [1]. Como grande desígnio tinha a vontade da União Europeia (UE) se transformar num modelo de liderança na economia dos dados. O objetivo último seria a criação de um mercado único de dados na UE, um ambiente fiável e seguro no qual empresas e cidadãos teriam acesso a produtos e serviços inovadores baseados em dados. Para lá chegar, seria necessário desenvolver Espaços

de Dados. Primeiro por domínio e a nível nacional, depois federados entre domínios e entre países, chegando assim ao desejado Espaço Europeu Comum de Dados.
Esta estratégia foi desenhada há 5 anos e hoje, volvido esse período, constata-se já a existência de vários Espaços de Dados operacionais em diferentes domínios, como sejam as indústrias da mobilidade, saúde ou automóvel [2]. No entanto, no final de 2025, a estratégia foi revista de modo a considerar a revolução que tem vindo a acontecer no campo da Inteligência Artificial (IA). Apesar da estratégia agora revista não ter alterado o essencial no que se refere aos Espaços de Dados, há agora, no entanto, um foco maior para que estes sejam escalados e interligados com infraestrutura de IA de modo a poderem alimentar o desenvolvimento de novos produtos e serviços. No fundo, esta revisão vem reforçar o papel crucial que os Espaços de Dados têm para a UE enquanto garante de dados com quantidade, qualidade e segurança para alimentar a IA e a economia.
Também em 2020, a Comissão Europeia definiu a sua Estratégia Industrial, que viria depois a ser atualizada em 2021 de modo a incluir as lições aprendidas com a crise do COVID-19. O grande desígnio da referida Estratégia era a necessidade de acelerar a transição gémea (verde e digital) da indústria da UE. Em particular, para os 14 ecossistemas industriais mais relevantes, foram definidos grupos de trabalho, envolvendo os países da UE, a indústria e demais *stakeholders* de cada ecossistema, com vista a definir as ações necessárias para atingir a transição gémea. Estas ações foram compiladas em documentos designados Via de Transição para cada um dos ecossistemas. No caso do ecossistema da construção, foi publicada em março de 2023 a correspondente Via de Transição [3]. Nesta, entre outras recomendações relevantes para uma transição gémea bem-sucedida no setor da construção, é referido que "um Espaço de Dados para a Construção libertaria o enorme potencial da inovação orientada por dados" no setor. Desde então têm existido alguns esforços no sentido de criar um Espaço Europeu Comum de Dados da Construção que seja seguro, fiável, transparente e capaz de integrar e federar, entre outras, tecnologias como os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e a Modelação da Informação da Construção (BIM) para a representação de forma holística do ambiente construído e não construído.

2. Espaço Europeu Comum de Dados

De forma conceptual, um Espaço de Dados pode ser descrito como o meio que permite que diferentes conjuntos de dados possam ser trocados entre diferentes intervenientes e segundo um conjunto de regras aceite por todas as partes. Fazendo um paralelo de fácil perceção, imaginemos um mercado tradicional onde se trocam bens. Este mercado tem um espaço físico com determinadas infraestruturas, desde água, luz, telecomunicações, entre outras. Há uma entidade responsável pelo mercado que garante o seu bom funcionamento, tipicamente o município. Há um conjunto de regras de funcionamento e utilização, desde horário de funcionamento, tipo de bens que é possível trocar, forma como a troca se processa, entre outras. Por fim, há um conjunto de outros intervenientes que utilizam o mercado para disponibilizar (vendedores) ou adquirir (compradores) bens.
No caso dos Espaços de Dados, que pretendem funcionar como um mercado especificamente dedicado a dados, o espaço físico materializa-se por um conjunto de infraestrutura tecnológica (hardware e software) em nuvem. A entidade responsável pelo espaço de dados será uma entidade, ou conjunto de entidades, acreditada para o efeito e que, tipicamente, será diferente

consoante o domínio desse Espaço de Dados (no presente caso, o domínio da Construção), uma vez que há regras de funcionamento específicas em cada domínio. As regras de funcionamento são materializadas por um conjunto de ferramentas tecnológicas (software) que permitem validar, certificar e rastrear as trocas de dados. Os intervenientes, são entidades digitalmente credenciadas e registadas no Espaço de Dados que pretendam disponibilizar ou adquirir dados. Apesar de existirem todas estas semelhanças entre o conceito de mercado tradicional e de mercado de dados (Espaço de Dados), há também muitas diferenças entre ambos. Desde logo, há o facto de, no mercado tradicional, os bens se encontrarem centralizados no espaço físico do mercado. No Espaço de Dados tal não acontece. Por um lado, o espaço físico está distribuído por diferentes fornecedores de alojamento na nuvem, que recorrem a diferentes "data centres" espalhados por diferentes geografias no planeta. Por outro lado, no Espaço de Dados, não se coloca tão-pouco a questão de ter os bens (dados) no mercado (espaço na nuvem), uma vez que estes se encontram no seu local de origem, junto do seu proprietário. Na verdade, o que existe no espaço físico do Espaço de Dados são catálogos de bens (dados) e serviços (ferramentas para manipular dados com determinada finalidade ou que, usando os dados, realizam determinada ação) que podem ser acedidos, mediante um acordo entre as partes.
A Estratégia Europeia para os dados prevê as seguintes características fundamentais para um Espaço Europeu Comum de Dados [1]:

- ser aberto à participação de todas as organizações e indivíduos;
- dispor de infraestrutura segura e preservar a privacidade para reunir, aceder, partilhar, processar e utilizar dados;
- dispor de mecanismos de governação de dados bem definidos e fiáveis, materializados por regras de acesso justas, transparentes, proporcionadas e não discriminatórias;
- respeitar as regras de proteção de dados pessoais e de consumidores, bem como o direito da concorrência;
- permitir que os detentores dos dados concedam acesso ou partilhem determinados dados pessoais ou não pessoais, a título gratuito ou mediante compensação.

Para que estas características se materializem, o Espaço de Dados tem de reunir os elementos base apresentados na Figura 1. De entre estes, três conjuntos são de cariz tecnológico e referem-se à tecnologia necessária para permitir a interoperabilidade de dados, a segurança e soberania sobre os dados e, por último, a criação de valor a partir dos dados. O quarto conjunto, diz respeito ao modelo de governança subjacente ao Espaço de Dados. Este foca-se mais nas regras de funcionamento do Espaço de Dados que são depois materializadas pela tecnologia referida nos outros três conjuntos.

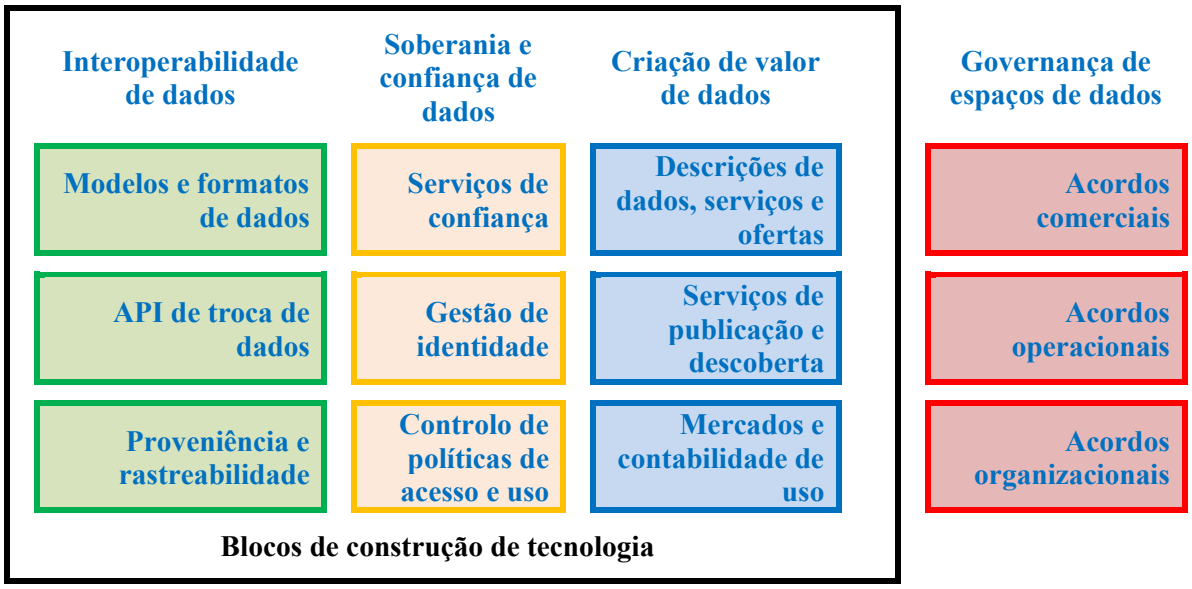


Figura 1: Elementos base que constituem um Espaço de Dados (adaptado de [4])

3. Digital TER-X 2050

A iniciativa Digital Ter-X 2050 (DTX) tem como objetivo estabelecer uma framework Europeia para o Espaço de Dados da Construção [5]. O desenvolvimento de Espaços de Dados em qualquer domínio, requer o envolvimento de entidades com conhecimento técnico sobre Espaços de Dados e entidades com conhecimento técnico sobre o domínio específico. No caso do domínio da construção, o DTX pretende ser o intermediário que liga estes dois tipos de entidades, facilitando a comunicação com e entre ambas. Para isso, no core da iniciativa estão os Hubs Gaia-X e os capítulos da buildingSMART de Portugal, França, Finlândia e Eslováquia (no caso da Eslováquia, apenas o Hub Gaia-X está envolvido, uma vez que não existe capítulo da buildingSMART nesse país). Os primeiros com o conhecimento técnico relativo aos Espaços de Dados, os segundos com o conhecimento técnico relativo ao domínio da Construção.
O DTX tem estado a funcionar desde 2023 tendo já atingido alguns marcos relevantes. Em particular, no programa de recomendação Gaia-X [6], o DTX tornou-se um projeto Qualificado no início de 2024, tendo atingido no final de 2025 o estatuto de projeto Farol Gaia-X. Este é o terceiro de quatro níveis previstos pelo programa. O último nível é atribuído aos projetos que apresentem já um Espaço de Dados operacional e em funcionamento comercial. Também no final de 2025, a equipa do DTX submeteu uma candidatura ao programa Horizonte Europa com vista a procurar garantir financiamento para os desenvolvimentos necessários para atingir aquele quarto nível. Estes marcos permitem antecipar que o Espaço de Dados da Construção será uma realidade em breve.
Em Portugal, e na sequência dos esforços que se têm vindo a realizar neste âmbito, dois grupos de trabalho associados ao DTX vão arrancar em 2026. Por um lado, um grupo de trabalho Gaia-X para o domínio da Construção. Neste grupo irão ser abordados os aspetos técnicos relativos ao desenvolvimento do Espaço de Dados da Construção, em conjunto com outros grupos do ecossistema Gaia-X. Por outro lado, será oficializado o grupo de trabalho da buildingSMART Portugal dedicado ao Digital Ter-X. Este grupo tem estado ativo e a trabalhar, ainda que de

forma informal. Pretende-se agora formalizar um programa de ações e envolver a comunidade openBIM Portuguesa no desenvolvimento do futuro Espaço de Dados da Construção.
Na Figura 2 apresenta-se a relação entre a iniciativa internacional DTX e estes dois grupos de trabalho nacionais. Note-se que ambos os grupos estão abertos à entrada de novos membros. Convida-se assim todos os que se queiram envolver nestas iniciativas a contactar os autores do presente artigo. Informação complementar sobre o DTX pode também ser consultada na versão em Português do Documento de Posição [7] publicado no final de 2024 e no qual se detalham os objetivos desta iniciativa e a visão que tem para o futuro Espaço Europeu Comum de Dados da Construção.

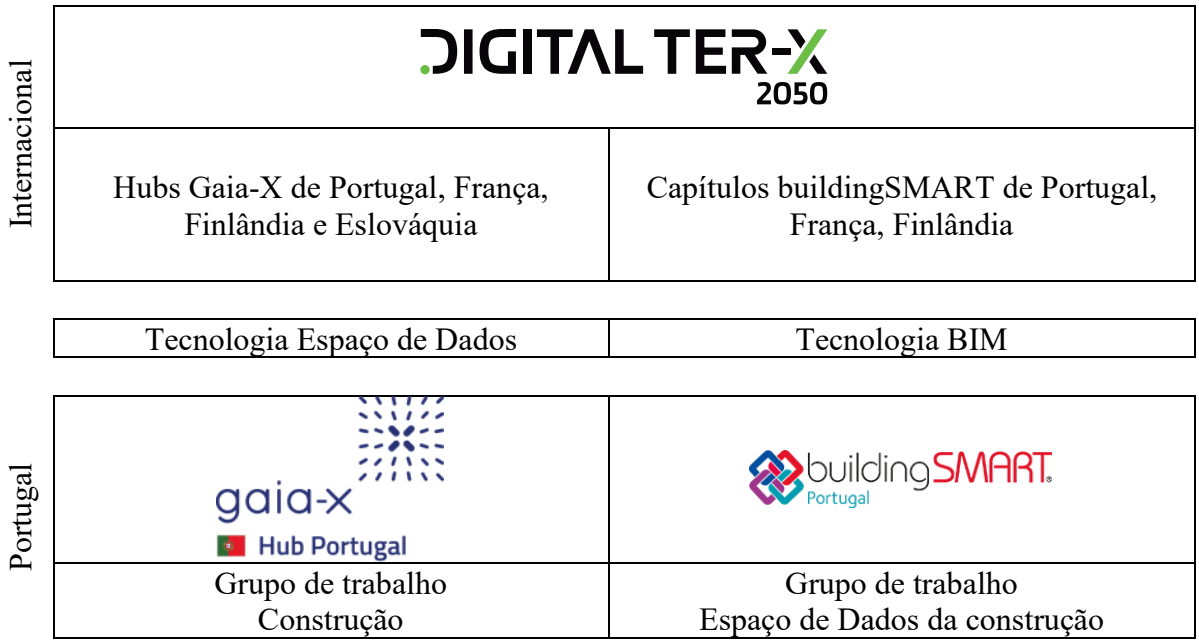


Figura 2: Interligação da iniciativa Digital TER-X com o Gaia-X e a buildingSMART.

4. O papel do BIM

A existência e o funcionamento de um Espaço de Dados num determinado domínio são influenciados pela forma como os dados são gerados, armazenados e trocados nesse domínio. No caso da Construção, estes aspetos são endereçados pela metodologia de Modelação de Informação da Construção (BIM). Assim sendo, importa que o futuro Espaço de Dados da Construção seja desenhado com o BIM em mente. Conceptualmente, este exercício não será muito complicado de perceber para alguém familiarizado com BIM. Seguramente que o leitor mais atento se terá interrogado do porquê da analogia entre Espaços de Dados e mercados tradicionais apresentada na secção 2 do presente artigo. De facto, a analogia poderia ter sido feita com algo bem mais próximo do BIM – o Ambiente Comum de Dados (CDE – *Common Data Environment*). No entanto, optou-se por aquela primeira analogia de modo a abranger também outro público do setor pouco familiarizado com o funcionamento de um CDE na ótica do administrador e da tecnologia do CDE.
Mas voltemos ao CDE e a sua analogia com os Espaços de Dados. De acordo com a ISO 19650 [8], o CDE é a fonte de informação acordada para qualquer projeto ou ativo, para recolher, gerir

e disseminar cada bloco de informação através de um processo estruturado. E, associado ao CDE, a norma também prevê o fluxo de trabalho que descreve o referido processo estruturado. Ou seja, a norma identifica o CDE como o espaço físico onde os dados devem existir. A entidade responsável pelo CDE é a entidade requerente do projeto ou ativo. As regras de funcionamento são os fluxos de trabalho definidos na norma. Os intervenientes são as entidades requerente, fornecedora líder e as demais entidades fornecedoras (equipas de trabalho e equipas de desenvolvimento). A parte na qual a norma é intencionalmente omissa, refere-se à solução tecnológica que materializa tudo isto. Tipicamente, as soluções de CDE que têm surgido no mercado são baseadas em serviços de armazenamento na nuvem aos quais são adicionadas algumas das funcionalidades anteriormente referidas, nomeadamente a gestão de fluxos de trabalho, de intervenientes e respetivas permissões.

A descrição anterior apresenta muitas semelhanças entre as soluções de CDE atuais e os Espaços de Dados. No entanto, são várias e muito importantes as diferenças entre ambos. Desde logo a forma como, nas soluções de CDE existentes os dados se encontram centralizados na infraestrutura de nuvem do fornecedor do CDE. Um de cada vez, os diferentes intervenientes vão colocando na CDE os dados que vão produzindo, com a data, formato, quantidade e qualidade conforme definidos nos documentos de Requisitos de Trocas de Informação (EIR – *Exchange Information Requirements*) e Plano de Execução BIM (BEP – *BIM Execution Plan*), de modo a permitir a partilha com os demais intervenientes.

No Espaço de Dados a ideia é que apenas o catálogo dos dados disponíveis se encontre no espaço físico do Espaço de Dados. Este catálogo contém os metadados que permitem identificar cada bloco de dados disponível no Espaço de Dados, o seu proprietário e as condições para lhe ter acesso, entre outros aspetos definidos ao nível das regras de funcionamento e governança do Espaço de Dados. Os dados deverão ficar no seu local de produção estando assim iminentemente distribuídos.

Mas esta diferença entre dados centralizados (CDE) e distribuídos (Espaço de Dados) tem implicações adicionais. Por um lado, coloca-se aqui a questão da propriedade dos dados. Ao colocar os dados no CDE, sendo este fornecido por uma entidade terceira, alheia ao projeto ou ativo, a propriedade sobre os mesmos é de quem? Ou seja, neste tipo de soluções surgem questões de soberania de dados que muitas vezes não têm uma resposta simples ou satisfatória. Por outro lado, e muito ligada à questão anterior, verifica-se muita duplicação de dados associada ao uso das soluções atuais de CDE. Na verdade, a maioria dos intervenientes num projeto ou ativo, não obstante cumprir com o funcionamento estipulado no EIR/BEP e colocar os seus dados no CDE, acaba por guardar uma cópia local, da qual eventualmente ainda faz backup num serviço de nuvem contratado por si. Ou seja, temos aqui várias cópias de uma mesma informação às quais está associada uma pegada de CO_2 relacionada com os custos de funcionamento dos servidores onde estes dados estejam armazenados. Os Espaços de Dados também têm como objetivo a redução da pegada carbónica associada à gestão de dados, não obstante o seu contributo para a gestão do ambiente construído seja o aspeto mais referenciado quando se fala no contributo dos Espaços de Dados para tal redução.

5. Casos de uso para um Espaço de Dados da Construção

Na perspetiva do Digital Ter-X 2050 (DTX), os casos de uso para o espaço de dados podem ser divididos em dois grupos: casos de uso de sistema e casos de uso de negócio. Os primeiros

dizem respeito a um conjunto de funcionalidades que serão transversais a todos os casos de negócio específicos que possam existir no contexto da construção. Apoiando-nos na Figura 1, os casos de uso de sistema dizem respeito a todas aquelas funcionalidades ali apresentadas (cada uma das caixas apresentada na figura). É sobre estes que tem incidido o trabalho do DTX, uma vez que sem estes, não existe Espaço de Dados.

Os casos de negócios são utilizações contextualizadas de algumas destas funcionalidades com vista a endereçar necessidades específicas da Construção. Um bom exemplo disto é o caso de negócio referente ao CDE distribuído, detalhado na secção anterior. Os aspetos relativos à infraestrutura necessária, aos serviços de autenticação e gestão de acessos, ou mesmo às ferramentas para a troca de dados, são tudo funcionalidades base do Espaço de Dados, que o CDE distribuído utilizará, e que estão mais diretamente ligadas à componente de tecnologia de Espaços de Dados. No entanto, existem outros aspetos mais ligados à componente de tecnologia da Construção, como sejam o modelo de governança, o modelo de negócios, os fluxos de informação, entre outros, que terão de ser definidos com o envolvimento dos *stakeholders* do BIM.

Um outro exemplo de caso de negócio são os Passaportes Digitais de Produto (PDP). Os PDP consistem numa coleção estruturada de informação relativa a cada produto acessível por via eletrónica. Foram criados, entre outros, com os seguintes objetivos: permitir o acesso simplificado a informações sobre produtos para fins de sustentabilidade e circularidade, permitir que os agentes da economia circular troquem as informações necessárias, prolongar a vida útil dos produtos e melhorar a sua reutilização, recondicionamento, remanufatura e reciclagem. No fundo, serem um elemento facilitador da economia circular [9].

A sua introdução no mercado europeu está a ocorrer de forma faseada, e, num futuro próximo, será uma realidade também no setor da construção. Neste âmbito, será importante definir como é que o uso destes PDP se articula com o uso de Espaços de Dados de modo a permitir que o acesso aos PDP seja seguro e regulado. Os PDP incluem toda a cadeia de valor de um domínio, sendo por isso pertinente a federação dos Espaços de Dados garantindo a rastreabilidade do produto. Esta temática já tem vindo a ser estudada noutros domínios. No domínio da Construção, os *stakeholder* do BIM têm também aqui uma palavra muito importante a dizer e podem influenciar o desenvolvimento de ambos, Espaço de Dados e PDP.

Muitos mais casos de negócio poderiam ser aqui elencados de modo a ilustrar a importância da comunidade BIM participar no desenvolvimento do Espaço de Dados da Construção. Por limitação de espaço tal não será aqui feito. Referem-se ainda assim mais dois que são detalhados no Documento de Posição do DTX: um relativo à gestão de cavidades urbanas e outro relativo à gestão do ciclo de vida de edifícios [7].

6. Conclusões

No presente documento apresentou-se o racional que levou a que hoje se discuta a necessidade de desenvolver um Espaço Europeu Comum de Dados da Construção. Foram identificados os principais objetivos e desafios associados ao seu desenvolvimento. A iniciativa Digital Ter-X, bem como os grupos de trabalho nacionais que lhe estão associados, foram apresentados e foi deixado o repto à comunidade BIM nacional para que se junte a esses grupos. Alguns casos de uso foram introduzidos de modo a ilustrar a relevância de um Espaço Europeu Comum de Dados da Construção. O futuro, pelo menos no contexto Europeu, passará pela progressiva

integração dos dados da construção com ferramentas e serviços baseados em Inteligência Artificial. Os Espaços de Dados serão a ponte entre os dados e a IA. Considerando que todos estes aspetos se encontram ainda em fase de discussão e desenvolvimento, é de extrema importância que os *stakeholders* da Construção se envolvam e influenciem o rumo que esses desenvolvimentos vão tomar.

Agradecimentos

Este trabalho foi apoiado pela União Europeia no âmbito do NextGenerationEU, através de uma subvenção do Acordo de Parceria do Plano de Recuperação e Resiliência (PRR) da República Portuguesa, no âmbito do programa "Missão Interface", com o objetivo de financiar a componente base do Instituto CCG/ZGDV (Código de Operação n.º 03/C05-i02/2022.P5; Subvenção Total: 4 037 440,23 Euros).

Referências

[1] Comissão Europeia (2020) "Uma estratégia europeia para os dados", Comunicação da Comissão ao Parlamento Europeu, ao Conselho, ao Comité Económico e Social Europeu e ao Comité das Regiões, Bruxelas, 19.2.2020, 66pp. (https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52020DC0066)
[2] The Data Spaces Radar, disponível em https://www.dataspaces-radar.org/radar/ e acedido em 07/01/2026
[3] Comissão Europeia (2023) "Via de Transição para a Construção", Comissão Europeia, Bruxelas, 03.2023, 74pp.
[4] Data Spaces Business Alliance (2023) "Technical Convergence - Discussion Document", Version 2.0, pp.135.
[5] Digital Ter-X 2050, disponivel em https://digitalter-x.eu/ e acedido em 07/01/2026
[6] Gaia-X, "Endorsement Programme", disponivel em https://gaia-x.eu/services-deliverables/endorsement-programme/ e acedido em 07/01/2026.
[7] Digital Ter-X 2050, "Documento de Posição", apresentado no Gaia-X Summit 2024 - Sessões no Economics Theatre, Novembro 2024. Tradução para Português disponivel em https://buildingsmart.pt/grupos-de-trabalho/
[8] ISO 19650-1:2018. (2018). Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) — Information management using building information modelling. Part 1: Concepts and principles.
[9] União Europeia (2024) "Regime para a definição de requisitos de conceção ecológica dos produtos sustentáveis", Regulamento (UE) 2024/1781 do Parlamento Europeu e do Conselho Europeu, 13.06.2024.

12345

RHAM: REPRESENTAÇÃO DAS TÉCNICAS CONSTRUTIVAS TRADICIONAIS DO ALGARVE EM OPENBIM

Nuno Rio, Filipe Coutinho Quaresma

ptBIM

RHAM: REPRESENTAÇÃO DAS TÉCNICAS CONSTRUTIVAS TRADICIONAIS DO ALGARVE EM OPENBIM

Nuno Rio[(1)], Filipe Coutinho Quaresma[(2)]

(1) Universidade Lusófona, Centro Universitário de Lisboa, Terr.A.ID - Centro de Investigação em Território, Arquitetura e Ambiente, Lisboa e Instituto Superior Manuel Teixeira Gomes, CITAI_DATA - Centro de Inteligência Aplicada, Portimão, ID ORCID 0000-0002-3065-8036
(2) Universidade Lusófona, Centro Universitário de Lisboa, Terr.A.ID - Centro de Investigação em Território, Arquitetura e Ambiente, Lisboa, ID ORCID 0000-0003-3196-4200

Resumo
Partindo do caso da construção tradicional do Barlavento do Algarve enquanto exemplo de um contexto de construção tradicional em que as principais barreiras à adoção do BIM são principalmente as humanas, culturais e organizacionais, refletindo desigualdades na literacia digital e dificuldades na integração de conhecimento tradicional em processos computacionais. Este artigo apresenta um conjunto de modelos BIM orientados ao conhecimento vernacular. Desenvolvidos no âmbito do projeto de investigação RHAM (Rural Habitat Algarve Model), que privilegia a investigação em projeto com base no desenvolvimento de modelação baseada em processos paramétricos simples, regras geométricas simplificadas e fluxos de trabalho simplificados e acessíveis. Este artigo apresenta o resultado em ambiente BIM de um conjunto de modelos paramétricos desenvolvidos especificamente para paredes de taipa, adobes, pavimentos cerâmicos e coberturas tradicionais, demonstrando que um conjunto reduzido de parâmetros é suficiente para traduzir com rigor as lógicas construtivas locais e apoiar a documentação, a comunicação interdisciplinar e a prática de projeto. Os resultados mostram que esta abordagem permite ampliar o uso do BIM, contribuindo para o reforço da colaboração entre todos os intervenientes durante todas as fases do ciclo de vida de uma construção tradicional garantindo fluxos de trabalho digitais colaborativos alinhados com a filosofia openBIM.

1. Introdução

A crescente digitalização dos processos de projeto, construção e gestão tem vindo a transformar e ampliar a prática da arquitetura, introduzindo novas metodologias de representação, coordenação e partilha de informação. No entanto, este avanço tecnológico tem sido acompanhado por um progressivo afastamento entre as ferramentas digitais e os saberes construtivos tradicionais, particularmente em territórios onde técnicas vernaculares como a taipa, o adobe, os rebocos de cal ou as coberturas de telhados tradicionais continuam a constituir um património arquitetónico ativo e operacional. Este desfasamento manifesta-se não apenas ao nível tecnológico, mas sobretudo ao nível humano, cultural e organizacional, refletindo

desigualdades na literacia digital e dificuldades na integração do conhecimento construtivo tradicional em metodologias de projeto contemporâneas.

A literatura tem vindo a demonstrar que as principais barreiras à adoção do Building Information Modelling (BIM) não são, na maioria dos casos, de natureza tecnológica, mas antes relacionadas com pessoas, processos e culturas organizacionais. Em contextos de baixa maturidade digital, como é frequentemente o caso da construção tradicional, da reabilitação e da intervenção em património edificado, a utilização de ferramentas BIM excessivamente complexas tende a acentuar exclusões, em vez de promover colaboração. Torna-se, por isso, necessário ampliar o modo como a informação da construção é representada e estruturada em ambiente digital, privilegiando abordagens que valorizem a clareza, a legibilidade e a acessibilidade como princípios fundamentais da implementação BIM.

Neste enquadramento, o presente artigo propõe uma abordagem metodológica designada por BIM orientado ao conhecimento vernacular, desenvolvida no âmbito do projeto de investigação RHAM — Rural Habitat Algarve Model [1], [2]. Em vez de recorrer a sistemas computacionais sofisticados ou altamente automatizados, a investigação centra-se na utilização de desenho paramétrico simples, regras geométricas explícitas e fluxos de trabalho acessíveis, capazes de traduzir as lógicas construtivas tradicionais do Barlavento do Algarve (Figura 1) para o ambiente BIM. O objetivo não é substituir o saber artesanal, mas antes apoiar a sua documentação, transmissão e aplicação nas práticas de projeto de arquitetura contemporâneas.



Figura 1: Construção tradicional do Barlavento do Algarve. Casa na localidade de Maria Vinagre, Concelho de Aljezur. Imagem do Ano de 1955, proveniente de I.A.R.P. Fonte: OA PIX, Cód Ref. PT-AO-IARP-FAR-AJZ00-011.

O artigo apresenta um conjunto de modelos BIM desenvolvidos especificamente para técnicas construtivas tradicionais do Algarve, incluindo paredes de taipa, paredes de adobe, rebocos de cal, pavimentos cerâmicos e sistemas de cobertura com telha cerâmica tradicional [3], [4]. Através da utilização de formatos abertos e de fluxos de trabalho alinhados com a filosofia openBIM, demonstra-se que um conjunto reduzido de parâmetros é suficiente para representar com rigor as lógicas construtivas locais, apoiar o projeto de arquitetura, facilitar a documentação construtiva e reforçar a comunicação interdisciplinar entre diferentes intervenientes.

O contributo específico deste artigo consiste em demonstrar que a simplificação intencional dos processos computacionais, quando orientada pelo conhecimento vernacular, permite aproximar o BIM da prática arquitetónica real, promovendo a sua utilização em contextos de construção tradicional e reforçando o seu papel enquanto metodologia colaborativa no âmbito do projeto de arquitetura.

2. Revisão da Literatura

2.1 Desafios da adoção do BIM em contextos de baixa maturidade digital

A adoção do Building Information Modelling tem sido amplamente reconhecida como um fator determinante para a transformação digital do setor da construção. Contudo, diversos estudos demonstram que a implementação do BIM enfrenta obstáculos significativos que vão muito além das limitações tecnológicas. Em particular, a literatura identifica de forma consistente que as principais barreiras à adoção do BIM são de natureza humana, cultural e organizacional, refletindo resistências à mudança, lacunas de formação e dificuldades na adaptação de práticas consolidadas a novos paradigmas digitais.

Moradi e Sormunen (2023) [5] sublinham que a maioria dos desafios críticos associados ao BIM está direta ou indiretamente relacionada com as pessoas, destacando a necessidade de abordagens que considerem os diferentes níveis de literacia digital dos intervenientes. De forma semelhante, Salah et al. (2024) [6] referem, no âmbito dos desafios de implementação a fragmentação dos processos, a dificuldade de interoperabilidade e os custos associados à implementação como fatores que limitam a disseminação do BIM.

Estes constrangimentos tornam-se particularmente evidentes em contextos de reabilitação e arquitetura vernacular, onde o conhecimento construtivo é frequentemente transmitido de forma oral fundamentado pela experiência da prática especialmente em contextos onde predominam pequenas equipas e práticas construtivas tradicionais. Nestes casos, a introdução de ferramentas BIM excessivamente complexas pode agravar o afastamento entre o digital e a prática construtiva real, reforçando a necessidade de metodologias que privilegiem a clareza, a simplicidade e a acessibilidade como princípios fundamentais da implementação BIM.

2.2 Desenho paramétrico como instrumento de sistematização do conhecimento construtivo

O desenho paramétrico tem sido reconhecido como um meio eficaz para estruturar e formalizar princípios construtivos através de regras explícitas e relações geométricas controladas. Em vez de se limitar à geração formal, a parametrização pode funcionar como um mecanismo de tradução do conhecimento construtivo, permitindo converter saberes em estruturas digitais interpretáveis e reprodutíveis.

Mao et al. (2024) [7] demonstram que a utilização de parâmetros simples permite codificar princípios construtivos tradicionais, tornando explícitas relações que, de outro modo, permaneceriam implícitas na prática artesanal. No mesmo sentido, Liberotti e Gusella (2023) [8] evidenciam que um número reduzido de parâmetros pode ser suficiente para gerar modelos geométricos complexos em contextos de restauro de património, reforçando a pertinência de abordagens paramétricas simples e orientadas ao processo construtivo.

No domínio da arquitetura tradicional, esta capacidade de sistematização assume particular relevância, uma vez que permite documentar e transmitir conhecimento acerca do processo construtivo sem o descontextualizar. Ao privilegiar regras claras, legíveis e diretamente

associadas às técnicas construtivas, o desenho paramétrico torna-se um instrumento de apoio ao projeto de arquitetura, capaz de articular tradição e contemporaneidade no ambiente digital.

2.3 openBIM e interoperabilidade como suporte à colaboração

A interoperabilidade constitui um dos pilares centrais da metodologia BIM, sendo particularmente relevante em contextos caracterizados pela diversidade de intervenientes, ferramentas e níveis de maturidade digital. A abordagem openBIM, promovida pela buildingSMART, tem sido amplamente reconhecida como um enquadramento fundamental para garantir a troca consistente e durável de informação ao longo do ciclo de vida da construção, através da utilização de formatos abertos e independentes de plataformas proprietárias.

Jiang et al. (2019) [9] identificam o openBIM como uma solução estruturante para a interoperabilidade da informação na indústria da arquitetura, engenharia e construção, ao permitir a integração de dados entre diferentes sistemas e ao promover transparência, colaboração e consistência informativa. Esta perspetiva revela-se especialmente pertinente em contextos vernaculares e patrimoniais, onde coexistem arquitetos, técnicos e construtores com diferentes práticas e competências digitais.

De forma complementar, Muchla e Stefańska (2025) [10] demonstram que a adoção de standards openBIM, como o formato IFC e outros componentes do ecossistema buildingSMART, contribui para melhorar a eficiência dos processos colaborativos e reduzir erros associados à fragmentação da informação. Ao estabelecer uma linguagem comum entre técnicos e especialidades, o openBIM reforça a viabilidade prática do BIM enquanto metodologia inclusiva, capaz de apoiar o projeto de arquitetura, a documentação da construção e a comunicação interdisciplinar.

Neste enquadramento, a utilização de fluxos de trabalho baseados em formatos abertos assume particular relevância para a representação de técnicas de construção tradicional, permitindo que o conhecimento vernacular seja partilhado, interpretado e reutilizado em ambientes digitais diversos, sem dependência excessiva de software específico.

3. Metodologia

3.1 Enquadramento metodológico e caso de estudo RHAM

A metodologia adotada neste trabalho insere-se no âmbito da investigação aplicada em projeto de arquitetura, articulando representação digital, desenho paramétrico e metodologias BIM com o estudo das técnicas construtivas tradicionais do Barlavento Algarvio. O caso de estudo corresponde ao projeto RHAM — Rural Habitat Algarve Model [1], [2], desenvolvido com o objetivo de explorar formas acessíveis de tradução do conhecimento vernacular para ambientes digitais, sem recorrer a sistemas computacionais complexos ou excessivamente automatizados.

O RHAM assume como princípio central a simplificação intencional dos processos digitais, privilegiando regras geométricas claras, parametrização leve e uma estrutura de informação orientada ao processo construtivo. Esta opção metodológica responde diretamente aos desafios identificados na literatura relativamente à adoção do BIM em contextos de baixa maturidade digital, procurando criar modelos compreensíveis e utilizáveis por diferentes perfis profissionais, desde arquitetos a técnicos e construtores.

O foco territorial no Barlavento do Algarve permite trabalhar com um conjunto coerente de técnicas construtivas tradicionais, documentadas na literatura e ainda presentes no dia a dia da

prática de construção regional, servindo como base para a construção de modelos digitais que articulam tradição e contemporaneidade digital.

3.2 Modelação paramétrica das técnicas construtivas tradicionais

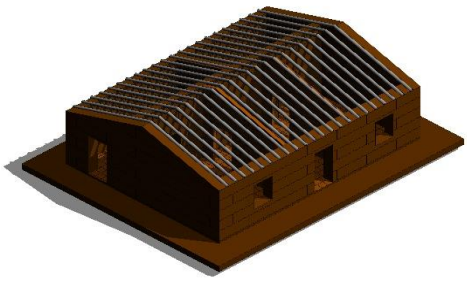


Figura 2: Modelo BIM constituído por paredes de taipa e estrutura de cobertura tipo duas águas. Modelado em Revit.

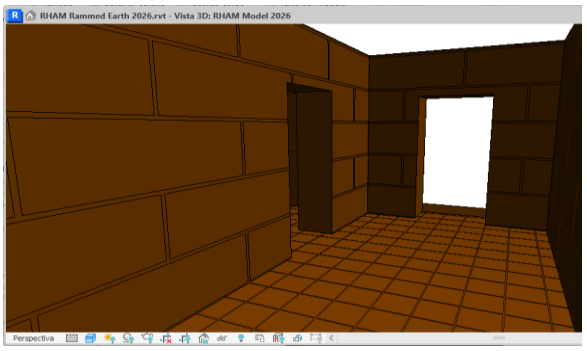


Figura 3: Contexto interior de paredes meeiras de taipa e detalhe de transição para pavimento cerâmico. Modelado em Revit

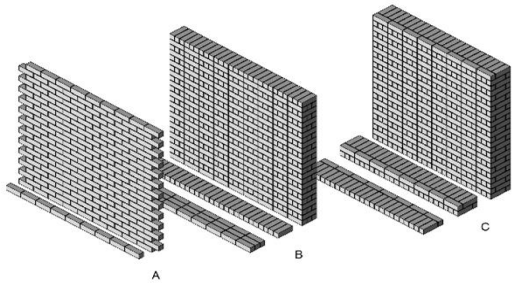


Figura 4: Biblioteca de Sistema de paredes em adobe, desdobrado em modelos de parâmetros variados. Modelado em Revit.

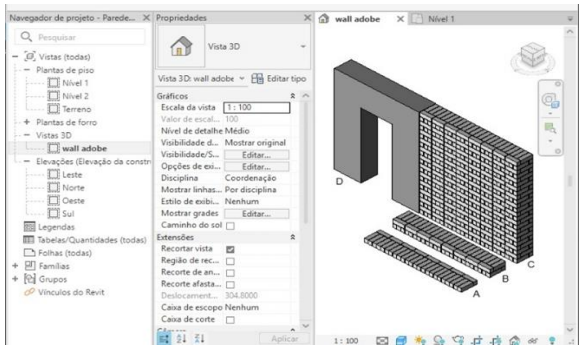


Figura 5: Estrutura de parâmetros em formatos de exportação aberto e interoperável. Modelado em Revit.

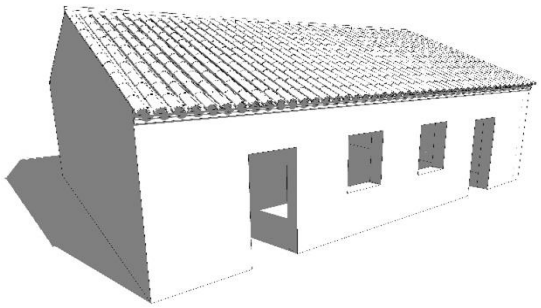


Figura 6: Modelo pronto para exportação para ficheiros de formatos abertos. Modelado em Revit.

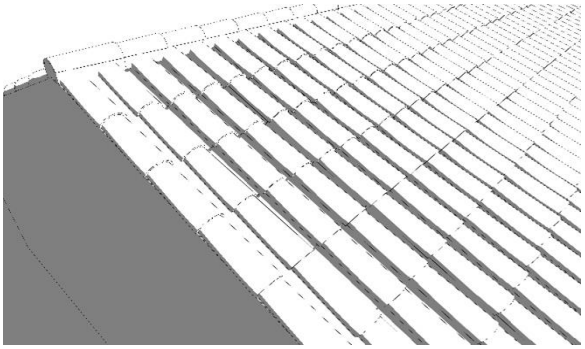


Figura 7: Modelação paramétrica do sistema de telhas canudo tradicionais. Modelado em Revit.

No âmbito do projeto RHAM foram desenvolvidas famílias BIM paramétricas específicas para um conjunto de técnicas construtivas tradicionais do Algarve, incluindo paredes de taipa (Figura

2), paredes de adobe (Figura 4), sistemas de reboco de cal (Figura 6), pavimentos cerâmicos tradicionais (Figura 2) e coberturas com telha cerâmica canudo tipo Santa Catarina (Figura 7).
As paredes de taipa e de adobe foram modeladas com base em módulos construtivos e espessuras variáveis, permitindo ajustar o modelo a diferentes contextos e soluções arquitetónicas, mantendo coerência com as técnicas tradicionais. A decomposição paramétrica destes sistemas possibilita uma leitura clara do processo construtivo, tornando explícitas relações que na prática são frequentemente transmitidas em contexto de obra.

3.3 Estrutura de informação e organização dos modelos BIM

A estrutura de informação dos modelos desenvolvidos no âmbito do RHAM assenta na criação de bibliotecas BIM temáticas, organizadas por sistemas construtivos e orientadas ao conhecimento vernacular. Cada família paramétrica integra um conjunto reduzido de parâmetros, selecionados de forma a privilegiar a compreensão do processo construtivo em detrimento de uma descrição excessivamente detalhada ou abstrata (Figura 5).
Os parâmetros definidos incluem espessuras, módulos construtivos, composição material, ritmo de repetição, relações geométricas entre elementos e identificação do sistema construtivo representado. Nas paredes, a informação organiza-se a partir de parâmetros como espessura, módulo e composição construtiva; nos pavimentos e coberturas, privilegiam-se parâmetros associados à modulação, disposição dos elementos e relação entre suporte e acabamento.
A organização semântica procura manter compatibilidade com a lógica IFC, através da associação dos modelos a classes gerais, como paredes, pavimentos e coberturas, complementadas por propriedades específicas que descrevem características construtivas tradicionais não contempladas de forma explícita nas bibliotecas BIM convencionais. Esta opção preserva a legibilidade dos modelos em fluxos openBIM e facilita a sua reutilização em diferentes fases do projeto, mantendo a coerência técnica e construtiva.

4. Resultados

A aplicação da metodologia proposta no âmbito do projeto RHAM resultou num conjunto de modelos BIM que demonstram a viabilidade de uma abordagem orientada ao conhecimento vernacular, baseada em parametrização simples, estrutura de informação aberta e interoperabilidade em ambiente openBIM. Os resultados obtidos evidenciam que a simplificação da modelação não compromete a capacidade de representação das técnicas construtivas tradicionais, antes reforçando a sua legibilidade, adaptabilidade e utilidade prática no projeto de arquitetura.
Um primeiro resultado relevante prende-se com a clareza construtiva dos modelos desenvolvidos. A utilização de famílias paramétricas específicas para paredes de taipa, paredes de adobe, pavimentos cerâmicos e coberturas tradicionais permite uma leitura direta dos sistemas construtivos, tornando explícitas as relações geométricas, que caracterizam estas técnicas. As vistas gerais do modelo (Figura 2 e Figura 6) evidenciam que um número reduzido de parâmetros é suficiente para representar com rigor as lógicas construtivas locais, sem recorrer a descrições excessivamente complexas ou abstratas.
A representação dos espaços interiores (Figura 3) constitui um segundo resultado significativo, ao demonstrar que os modelos não se limitam à formalização da envolvente, mas integram efetivamente a dimensão habitável da arquitetura vernacular. A articulação entre paredes, pavimentos e vãos permite compreender o impacto das soluções construtivas na configuração

espacial, reforçando o papel do BIM como instrumento de apoio ao projeto de arquitetura e não apenas como ferramenta de coordenação técnica.

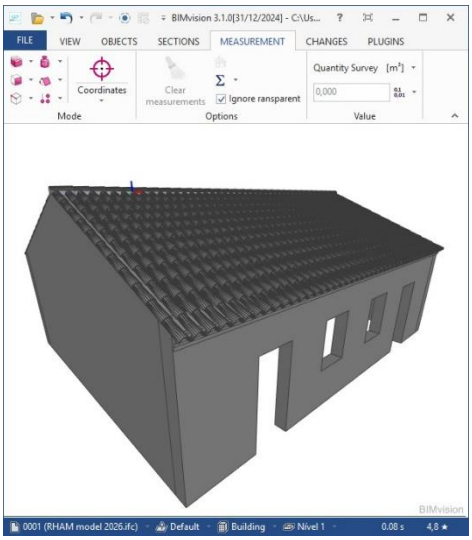


Figura 8: RHAM em ficheiro padrão .ifc, software BIMvision.

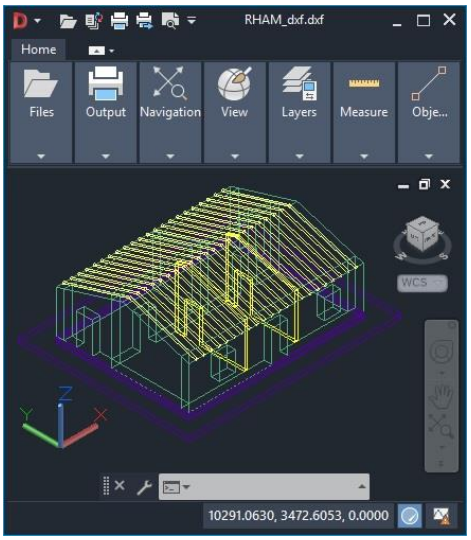


Figura 9: RHAM em ficheiro padrão .dxf, software Autodesk Design Review.

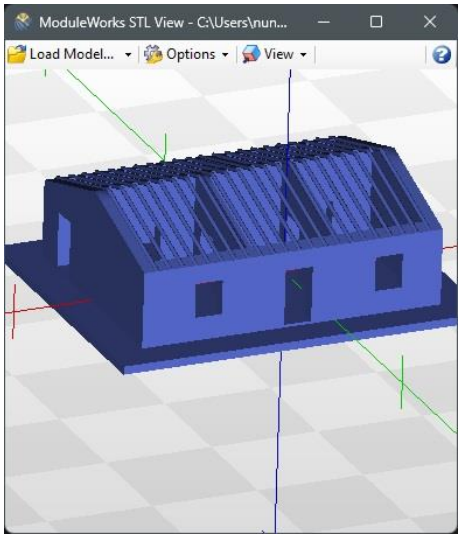


Figura 10: RHAM em ficheiro padrão.stl, software STLView.

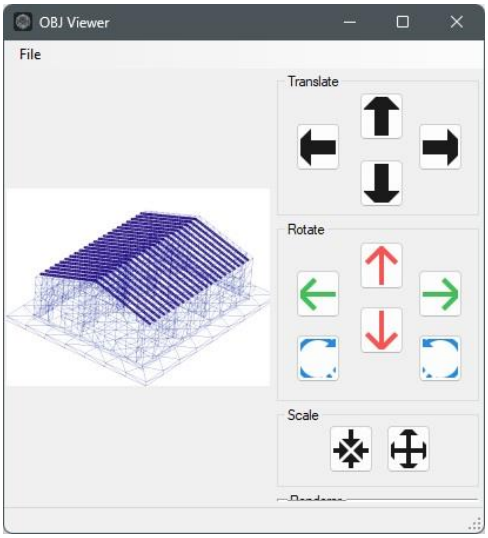


Figura 11: RHAM em ficheiro padrão .obj, software OBJ Viewer MSIX.

No que respeita aos sistemas de cobertura (Figura 6 e Figura 7), os resultados evidenciam a eficácia da parametrização modular na representação de soluções construtivas tradicionais. A modelação da telha cerâmica tipo Santa Catarina e da respetiva estrutura de apoio permite visualizar o ritmo construtivo e a organização do sistema, contribuindo para uma leitura didática e tecnicamente detalhada da cobertura enquanto elemento fundamental do edifício.
Outro resultado central do trabalho relaciona-se com a interoperabilidade e acessibilidade da informação construtiva. A exportação dos modelos para formatos .ifc, .dxf, .stl, .obj e a sua visualização em ambiente digital (Figura 8, Figura 9, Figura 10, Figura 11) confirmam que a

informação estruturada no software de autoria (Figura 2e Figura 6) mantém legibilidade e coerência fora desse contexto.

5. Discussão

5.1. Utilidade prática dos modelos RHAM

Os resultados obtidos evidenciam que os modelos BIM orientados ao conhecimento vernacular desenvolvidos no âmbito do projeto RHAM possuem utilidade prática em diferentes contextos da atividade no âmbito do projeto e da construção. No domínio da formação, os modelos funcionam como instrumentos pedagógicos capazes de tornar explícitos processos construtivos tradicionalmente transmitidos de forma oral ou em obra. A decomposição paramétrica de sistemas como paredes de taipa ou de adobe permite compreender sequências construtivas, módulos e relações geométricas, facilitando a transmissão do conhecimento a estudantes, técnicos e profissionais em formação.

No projeto de arquitetura, a abordagem proposta revela-se particularmente relevante ao apoiar a conceção e a tomada de decisão em contextos que valorizam a continuidade com a arquitetura tradicional. A possibilidade de ajustar parâmetros essenciais como espessuras, módulos ou composições permite explorar soluções arquitetónicas coerentes com o contexto vernacular, sem recorrer a representações genéricas ou abstraídas da cultura construtiva. O BIM assume, assim, um papel ativo no processo de apoio ao projeto, reforçando a articulação entre desenho, construção e materiais.

No contexto da reabilitação, os modelos contribuem para a documentação do existente e para a comunicação entre diferentes intervenientes, incluindo arquitetos, técnicos e construtores. A clareza da informação construtiva e a sua disponibilidade em formatos abertos facilitam a interpretação do edifício e apoiam a definição de estratégias de intervenção fundamentadas, particularmente relevantes em contextos de património classificado e arquitetura tradicional.

5.2. Desafios da formalização do conhecimento construtivo vernacular

A tradução do conhecimento construtivo vernacular para o ambiente digital levanta desafios conceptuais e metodológicos que importa discutir criticamente. Uma parte significativa deste conhecimento reside na experiência, no gesto e na adaptação ao contexto específico, não sendo totalmente formalizado através de parâmetros ou regras geométricas. A abordagem proposta no âmbito do RHAM reconhece estas limitações e não pretende substituir o saber artesanal, mas antes apoiar a sua documentação e transmissão de forma consciente e crítica.

A parametrização simples adotada no projeto deve ser entendida como uma aproximação deliberada, que privilegia a legibilidade e a acessibilidade. Ao tornar explícitas determinadas relações construtivas, o modelo digital funciona como suporte ao projeto e à comunicação, mantendo o arquiteto como mediador fundamental entre tradição e tecnologia. Esta posição evita uma visão fanática da computação, reforçando o carácter interpretativo e disciplinar do projeto de arquitetura.

5.3. BIM orientado ao conhecimento vernacular e openBIM

A opção por fluxos de trabalho baseados em formatos abertos insere-se numa visão do BIM enquanto metodologia colaborativa e inclusiva. A utilização de exportação IFC e a visualização dos modelos em plataformas independentes do software de autoria demonstram que a

informação construtiva estruturada no âmbito do RHAM pode ser partilhada e interpretada por diferentes agentes, independentemente das ferramentas utilizadas.
Este posicionamento está alinhado com os princípios do openBIM, que promovem a interoperabilidade, a transparência e a integridade da informação ao longo do ciclo de vida da construção. No contexto do projeto RHAM, o openBIM não surge como um objetivo tecnológico em si mesmo, mas como uma consequência natural de uma abordagem orientada à acessibilidade e à colaboração. Ao reduzir dependências tecnológicas e ao criar uma linguagem comum entre intervenientes, o BIM orientado ao conhecimento vernacular reforça a viabilidade prática da metodologia em contextos de baixa maturidade digital e diversidade profissional.

6. Conclusão

O presente artigo demonstrou que é possível desenvolver uma abordagem BIM acessível e orientada ao conhecimento vernacular, capaz de representar técnicas construtivas tradicionais do Barlavento Algarvio em ambiente digital, sem recorrer a processos computacionais excessivamente complexos. Através do projeto RHAM, evidenciou-se que a utilização de desenho paramétrico simples, regras geométricas explícitas e uma estrutura de informação clara, permite traduzir de forma rigorosa e legível as lógicas construtivas associadas à taipa, ao adobe, aos rebocos de cal, aos pavimentos cerâmicos e às coberturas tradicionais.
Os resultados confirmam que a simplificação da modelação não compromete a qualidade da representação nem a utilidade prática dos modelos BIM. Pelo contrário, contribui para uma maior legibilidade da informação construtiva, facilitando a sua utilização no projeto de arquitetura, na formação e na reabilitação do edificado tradicional. A possibilidade de visualizar os modelos em formatos abertos reforça o carácter colaborativo e interdisciplinar da metodologia, permitindo a participação de diferentes intervenientes ao longo das várias fases do ciclo de vida da construção.
Embora profundamente enraizada num contexto territorial específico, a metodologia desenvolvida no âmbito do RHAM apresenta um modelo metodologicamente replicável. A sua aplicação a outros territórios e sistemas construtivos vernaculares é possível, desde que respeitada a articulação entre conhecimento local, parametrização e interoperabilidade. Esta distinção entre especificidade territorial e replicabilidade metodológica constitui um dos contributos centrais do trabalho.
Em alinhamento com os objetivos da Conferencia ptBIM, o artigo reforça o potencial do BIM enquanto metodologia essencial para a transição digital no setor da construção, desde que aplicada de forma inclusiva, contextualizada e disciplinarmente equilibrada. O BIM orientado ao conhecimento vernacular afirma-se assim como uma via válida para aproximar o digital das práticas construtivas tradicionais, contribuindo para a preservação do património, para a sustentabilidade territorial e para o reforço da colaboração entre arquitetura, construção e tecnologia.

Agradecimentos

Este artigo é desenvolvido no âmbito do Programa de Doutoramento em Arquitetura da Universidade Lusófona, Centro Universitário de Lisboa. É apoiado pela bolsa de Doutoramento atribuída pela COFAC e pelo CITAI DATA - Centro de Inteligência Aplicada do ISMAT. Esta

investigação foi financiada, na totalidade ou em parte, pelo ALGARVE 2030 e pelo Portugal 2030, cofinanciados pela União Europeia

Referências

[1] N. Rio and F. C. Quaresma, 'RHAM – The computational emulator of the construction process of a typical Western Algarve house', in *Proceedings of the European Conference on TRANS-CARBON HABITAT CONFERENCE*, J. Mourão and N. Bonaccorso, Eds., Lisbon: Ordem dos Arquitectos, Oct. 2025, pp. 124–137. Accessed: Nov. 30, 2025. [Online]. Available: https://scholar.tecnico.ulisboa.pt/records/BHzCpHKANjX8IIm4SUzgTxe3DKq2460ggmy

[2] N. Rio and F. C. Quaresma, 'RHAM: Rural Habitat Algarve Model', in *SIGraDi 2023 Accelerated Landscapes XXVII International Conference of the Ibero-American Society of Digital Graphics*, F. G. Amen, Á. A. Gentile, and A. L. Fitipaldo, Eds., Punta del Este | Maldonato: Facultad de Arquitectura Diseño y Urbanismo (UdelaR), Nov. 2023, pp. 1585–1596. Accessed: Mar. 23, 2024. [Online]. Available: www.sigradi.org/sigradi2023

[3] F. C. K. do Amaral, A. P. Martins, C. Castro, and F. Torres, *Arquitectura Popular em Portugal*, 3ª Edição., vol. 3º Volume. Lisboa: AAP-CDN, 1988.

[4] I. Sequeira, 'O adobe na arquitectura do barlavento algarvio: um estudo para a sua recuperação como material de construção.', Universidade de Évora, 2004. Accessed: Feb. 28, 2022. [Online]. Available: http://hdl.handle.net/10174/15617

[5] S. Moradi and P. Sormunen, 'Integrating lean construction with BIM and sustainability: a comparative study of challenges, enablers, techniques, and benefits', *Construction Innovation*, pp. 188–203, May 2023, doi: 10.1108/ci-02-2023-0023.

[6] Salah, 'An Investigation of Historic Transportation Infrastructure Preservation and Improvement through Historic Building Information Modeling', *Infrastructures (Basel).*, 2024, doi: 10.3390/infrastructures9070114.

[7] Y. Mao, H. Lu, Y. Xiao, Z. Lai, and L. Huang, 'A Parametric HBIM Approach for Preservation of Bai Ethnic Traditional Timber Dwellings in Yunnan, China', *Buildings*, pp. 1–26, Jun. 2024, doi: 10.3390/buildings14071960.

[8] R. Liberotti and V. Gusella, 'Parametric Modeling and Heritage: A Design Process Sustainable for Restoration', *Sustainability*, pp. 1–15, Jan. 2023, doi: 10.3390/su15021371.

[9] S. Jiang, L. Jiang, Y. Han, Z. Wu, and N. Wang, 'OpenBIM: An enabling solution for information interoperability', *MDPI Applied Sciences. BIM in the Construction Industry*, vol. 9, no. 24, pp. 1–27, Dec. 2019, doi: 10.3390/app9245358.

[10] A. Muchla and A. Stefańska, 'Exploring the benefits of open BIM standards for enhanced interoperability and efficiency in architecture, engineering, and construction projects', *Acta Scientiarum Polonorum. Architectura*, vol. 24, pp. 245–260, Aug. 2025, doi: 10.22630/aspa.2025.24.17.

12345

INTEGRAÇÃO OPENBIM E IDS NA VALIDAÇÃO AUTOMÁTICA DE REQUISITOS EM MODELOS IFC: ESTUDO DE CASO NA FIOCRUZ

Silvia Pereira, Miguel Azenha

ptBIM

INTEGRAÇÃO OPENBIM E IDS NA VALIDAÇÃO AUTOMÁTICA DE REQUISITOS EM MODELOS IFC: ESTUDO DE CASO NA FIOCRUZ

Silvia Pereira [(1)], Miguel Azenha [(2)]

(1) Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz), Rio de Janeiro, Brasil, ORCID: 0000-0003-2071-5372
(2) Universidade do Minho, Guimarães, Portugal, ORCID: 0000-0003-1374-9427

Resumo
A adoção de BIM em contratos públicos amplia desafios de interoperabilidade, rastreabilidade e transparência na entrega e validação de modelos digitais. À luz da ISO 19650 e dos princípios openBIM, torna-se essencial estruturar requisitos de informação com níveis de informação necessários (*Level of Information Need*) e garantir a sua verificação automatizada em modelos IFC. Este artigo, baseado no estudo desenvolvido no âmbito do pós-doutoramento na Universidade do Minho, Escola de Engenharia (ISISE–DiCE), apresenta um estudo na Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz), com o uso do Information Delivery Specification (IDS) para definir, organizar e validar requisitos de informação em modelos *as-built* de ambientes laboratoriais. A metodologia incluiu a revisão de requisitos (AIR, PIR e EIR) segundo o *Level of Information Need*, a sua complementação com propriedades do esquema IFC 4X3, a configuração de IDS na plataforma usBIM e testes de validação com o Bonsai (Blender). Os testes evidenciaram ganhos em consistência e objetividade na avaliação, além de apoiar a definição de critérios de aceitação. Em contrapartida, expuseram desafios de padronização de parâmetros, mapeamento de classes IFC e necessidade de ajustes em modelos nativos. Conclui-se que o IDS é uma abordagem promissora para operacionalizar fluxos openBIM e aumentar a auditabilidade de entregas em contextos públicos.

1. Introdução

A difusão da metodologia BIM em contratos públicos tem acelerado a necessidade de processos mais robustos de controlo de qualidade, rastreabilidade e transparência na medição e aceitação de entregáveis digitais. Em especial, donos de ativos com forte componente operacional, como instituições públicas de saúde, dependem de informação confiável para suportar manutenção, operação e segurança.
Neste contexto, a gestão da informação conforme a série ISO 19650 reforça o papel de requisitos de informação bem definidos (por fase, uso e responsabilidade) e a adoção de princípios openBIM para garantir interoperabilidade ao longo do ciclo de vida. Contudo, em muitas organizações — incluindo contextos como o da Fiocruz — a verificação do cumprimento de requisitos de informação em projetos contratados ainda se baseia, em grande

medida, em inspeções manuais em ficheiros nativos, com critérios que podem variar entre membros da equipa, maior esforço operacional e menor reprodutibilidade.
A questão ganha relevância quando o formato IFC é exigido como meio de entrega, em paralelo ao ficheiro nativo, especialmente em cenários em que padrões e fluxos openBIM se encontram em amadurecimento. Nesses casos, discrepâncias no mapeamento de classes IFC, o uso de restrições não padronizadas e classificações inconsistentes podem interferir na qualidade da informação e limitar o reaproveitamento do modelo em ambientes de gestão de ativos, nos quais o IFC tende a ser o formato mais adequado e sustentável.
Este artigo tem por objetivo demonstrar como o desenvolvimento de ficheiros IDS pode impactar a forma de apresentação dos requisitos de informação e viabilizar a sua verificação automática em modelos IFC, a partir de um estudo de caso na Fiocruz, utilizando modelos *as-built* do Centro de Pesquisa, Inovação e Vigilância em Covid-19 e Emergências Sanitárias (CPIVCES). As contribuições do estudo incluem: (i) um procedimento de mapeamento de requisitos institucionais a partir do *Level of Information Need*, a complementação desses requisitos com propriedades e quantidades do esquema IFC 4X3 e o desenvolvimento e configuração dos IDS – apresentados na secção 2 - Estudo de Caso; (ii) a implementação e teste de IDS nos modelos IFC do estudo de caso, em ferramentas openBIM, com descrição dos resultados, dos desafios e dificuldades– apresentados na secção 3 - Resultados e Discussão; (iii) conclusões a partir dos resultados com propostas de implementação de melhorias no EIR da Fiocruz, em especial para a revisão de requisitos e definição de critérios de aceitação, além da recomendação do uso e difusão de padrões openBIM, que pode proporcionar economia e maior eficiência à administração pública, em alinhamento às diretrizes da Estratégia BIM-BR [1] e às normas internacionais – apresentados na Secção 4 - Conclusões.

1.1 Referencial Teórico

A gestão da informação descrita na ISO 19650 [2] [3] trata da estrutura da especificação, produção e entrega de informação por meio de requisitos organizacionais e contratuais. Para o contexto de gestão de ativos, destacam-se requisitos de informação do ativo (AIR), do projeto (PIR) e de troca da informação (EIR), que devem indicar o propósito de uso e o nível de informação exigida para cada entrega.
O conceito de *Level of Information Need* [4], estabelece princípios para especificar qualidade, quantidade e granularidade de informação, evitando sobrecarga (excesso) ou lacunas (insuficiência) na entrega. Na prática, o *Level of Information Need* permite decompor o requisito em dimensões geométricas, alfanuméricas e documentais, e relacioná-lo a objetos e sistemas do modelo.
O openBIM, promovido pela buildingSMART, combina padrões e fluxos abertos para suportar colaboração e interoperabilidade. O IFC (ISO 16739 [5]) é o principal esquema de dados para troca de modelos; o *BIM Collaboration Format* (BCF) apoia comunicação de problemas; abordagens de openCDE suportam gestão de documentos e rastreabilidade de entregas; há ainda o buildingSMART Data Dictionary (bSDD), serviço online de uma biblioteca global de dados para o ambiente construído, padronizando termos, classificações e propriedades.
O Information Delivery Specification (IDS) é um padrão buildingSMART para expressar requisitos de informação de forma interpretável por computadores [6]. Um IDS descreve o que deve estar presente no modelo IFC (classes, propriedades, quantidades, materiais, classificações e relações), e permite que serviços de validação, como o que existe no Bonsai (add-on do Blender), executem verificações de conformidade de modo objetivo e reproduzível por

qualquer membro da equipa[7]. Ao alinhar a especificação (EIR/*Level of Information Need*) com verificação automática, o IDS reduz ambiguidade e tende a melhorar a consistência dos dados de não conformidade, além de contribuir para a definição dos critérios de aceitação, especialmente para projetos contratados.
A adoção do IDS tem sido suportada por ferramentas comerciais e open-source, incluindo validadores e fluxos de verificação em plataformas como Solibri, BIMcollab Zoom e bibliotecas como IfcOpenShell/IfcTester. Em paralelo, a literatura tem explorado o uso e a extensão do IDS para contextos como verificação automatizada de regras e processos regulatórios, bem como abordagens de implementação do esquema IDS em diferentes cenários de uso, como o CHEK - projeto de inovação e pesquisa financiado pela União Europeia para eliminar barreiras para a adoção do licenciamento digital de construção nos municípios europeus (*Digital Building Permit*) [8]. No Brasil, há estudos e pesquisas aplicadas do uso do IDS para regras de acessibilidade (ABNT NBR 9050), por exemplo [9].

1.2 Metodologia

O estudo caracteriza-se como pesquisa aplicada, utilizando estudo de caso no contexto de uma instituição pública de saúde no Brasil. A pesquisa foi organizada em cinco etapas principais, passando primeiramente por levantamento e revisão bibliográfica:

- Levantamento bibliográfico sobre normativas, fluxos openBIM e levantamento de requisitos de informação existentes nos documentos da Fiocruz (AIR, PIR e EIR) [10] para a fase de *as-built*;
- Mapeamento desses requisitos segundo o *Level of Information Need*, estruturando-os por objeto/sistema, tipo de informação e obrigatoriedade;
- Complementação dos requisitos com base no esquema IFC 4X3 (atributos, property sets, quantidades e relações), assegurando viabilidade de verificação automática, com implementação dos requisitos em ficheiros IDS, utilizando configurações em plataforma dedicada – usBIM [11];
- Execução de testes de validação no Bonsai [12], em modelos IFC exportados de software nativo (Revit 2026), com análise de não conformidades e refinamento iterativo dos IDS;
- Avaliação e validação com descrição dos resultados, propostas de implementação de melhorias no EIR da Fiocruz.

Como métrica de síntese para comparação entre conjuntos de requisitos, adotou-se o incremento do número de requisitos explicitados em linguagem computacional (IDS/IFC) face ao conjunto inicial do EIR (MIDP e AIR da Fiocruz) [10], por disciplina e por tipo de informação. O incremento nos requisitos de informação foi, portanto, calculado a partir da Equação 1:

$$Incremento = IDS - (MIDP + AIR) \quad (1)$$

As ferramentas utilizadas incluíram usBIM v2.13.44 (ACCA software [11]) para criação e gestão dos ficheiros IDS e o Bonsai v0.8.4 (Blender 5.0) para execução de verificações [12].

2. Estudo de caso

O estudo de caso foi conduzido com base no projeto de *as-built* do CPIVCES da Fiocruz, considerando requisitos para gestão de ativos em ambientes laboratoriais e a necessidade de modelos confiáveis para utilização na operação e na manutenção. O CPIVCES foi implantado em 12 meses para ampliar rapidamente a capacidade de pesquisa durante a pandemia de Covid-19, com otimização de recursos e prazos. Instalado no Rio de Janeiro, ocupa cerca de 12.000 m² num edifício de dois blocos e três pavimentos, com áreas laboratoriais de biossegurança níveis 2 e 3. O complexo reúne 13 laboratórios NB2 e 1 NB3, quatro plataformas tecnológicas, biotérios para pequenos roedores, além de áreas compartilhadas, escritórios e setores de apoio e utilidades com sistemas de climatização, elétrica, gases, inativação térmica e tratamento químico e biológico [13].
Foram utilizados modelos IFC 4X3 exportados do *software* nativo Revit 2026, abrangendo disciplinas relevantes para edifícios laboratoriais (Arquitetura, Estruturas, Instalações e sistemas especiais), incluindo *base quantities*. A exportação foi realizada segundo um Model View Definition (MVD), de modo a restringir o subconjunto IFC esperado e suportar a interoperabilidade e, para os testes, privilegiou-se o uso de *property sets* (Psets) nativos do IFC. Como etapa inicial para a criação dos IDS, levantaram-se os requisitos de informação constantes no EIR (MIDP e AIR) da Fiocruz, alinhados com o *Level of Information Need* para a fase *as-built* orientada à gestão de ativos. Em seguida, complementaram-se os requisitos com propriedades nativas do IFC 4X3, resultando em planilhas por disciplina e por elemento (atributos, propriedades, materiais, classificação e relações). Esta padronização tomou como referência o EIR da buildingSMART Portugal [14] e Oliveira [15], servindo também de base à proposta de revisão do EIR da Fiocruz. A Figura 1 apresenta um exemplo de *Level of Information Need* para espaços (Arquitetura).

Objetos			*Espaços*	
Ator requerente			*Fiocruz - Contratante*	
Ator fornecedor			*Construtora - Contratada*	
				Projeto de As Built
Requisitos mínimos de informação alfanumérica				
	Classe IFC			*IfcSpace*
	Atributos			
		Name		*X*
		LongName		*X*
		ElevationWithFlooring		*X*
	Grupos de propriedades			
		Propriedade	**Grupo de propriedades**	
		NetFloorArea	*Qto_SpaceBaseQuantities*	*X*
		Height	*Qto_SpaceBaseQuantities*	*X*
		NetCeilingArea	*Qto_SpaceBaseQuantities*	*X*
		NetVolume	*Qto_SpaceBaseQuantities*	*X*
		NetPerimeter	*Qto_SpaceBaseQuantities*	*X*
		SkirtingBoard	*Pset_SpaceCoveringRequirements*	*X*
		SkirtingBoardHeight	*Pset_SpaceCoveringRequirements*	*X*
		Molding	*Pset_SpaceCoveringRequirements*	*X*
		MoldingHeight	*Pset_SpaceCoveringRequirements*	*X*
		ConcealedFlooring	*Pset_SpaceCoveringRequirements*	*X*
		ConcealedCeiling	*Pset_SpaceCoveringRequirements*	*X*
		ConcealedFlooringOffset	*Pset_SpaceCoveringRequirements*	*X*
		ConcealedCeilingOffset	*Pset_SpaceCoveringRequirements*	*X*
		OccupancyType	*Pset_SpaceOccupancyRequirements*	*X*
		OccupancyNumber	*Pset_SpaceOccupancyRequirements*	*X*

Figura 1 – Exemplo da planilha de *Level of Information Need* para a disciplina de Arquitetura, requisitos de informação para os espaços. Fonte: a autora [16], no formato adaptado do EIR buildingSMART Portugal [14].

Com abordagem inspirada no SomaSUS [17], que sistematiza requisitos de informação para espaços de estabelecimentos assistenciais de saúde com base na RDC 50/2002 [18], para além dos dados espaciais e de instalações, relaciona-se, por ambiente, os equipamentos previstos com respetivos requisitos. O que motivou a introdução de regras para validar relações espaço–equipamento.

Entre os requisitos considerados para a verificação dos espaços incluem-se aspetos de ocupação, iluminação, HVAC, segurança contra incêndio e riscos, bem como a presença de equipamentos específicos necessários aos fluxos de trabalho do espaço, como a instalação de cabines de segurança biológica em laboratórios determinados.

A partir das planilhas de *Level of Information Need*, foram configurados ficheiros IDS no usBIM (editor IDS) e executados testes de validação no Bonsai, verificando atributos, propriedades, materiais, classificações e relações. Em termos de estrutura, cada IDS é composto por *specifications*: em cada *specification*, a secção *applicability* define o conjunto de elementos a avaliar e a secção *requirements* estabelece as condições a cumprir, expressas por *facets*; a *cardinality/usage* (required/optional/prohibited) define o grau de obrigatoriedade. A Figura 2 apresenta um exemplo de IDS para verificação de equipamentos em espaço específico de um laboratório.

```
<ids:specification ifcVersion="IFC4X3_ADD2" name="Equipamentos de Laboratório - Localização">
  <ids:applicability minOccurs="1" maxOccurs="unbounded">
    <ids:entity>
      <ids:name>
        <ids:simpleValue>IFCAIRTERMINAL</ids:simpleValue>
      </ids:name>
      <ids:predefinedType>
        <ids:simpleValue>CABINE SEGURANÇA BIOLÓGICA</ids:simpleValue>
      </ids:predefinedType>
    </ids:entity>
    <ids:attribute>
      <ids:name>
        <ids:simpleValue>ObjectType</ids:simpleValue>
      </ids:name>
      <ids:value>
        <xs:restriction base="xs:string">
          <xs:pattern value=".*CABINE SEGURANÇA BIOLÓGICA.*" />
        </xs:restriction>
      </ids:value>
    </ids:attribute>
  </ids:applicability>
  <ids:requirements>
    <ids:partOf relation="IFCRELCONTAINEDINSPATIALSTRUCTURE" cardinality="required">
      <ids:entity>
        <ids:name>
          <ids:simpleValue>IFCSPACE</ids:simpleValue>
        </ids:name>
        <ids:predefinedType>
          <xs:restriction base="xs:string">
            <xs:pattern value=".*2-140B.*" />
          </xs:restriction>
        </ids:predefinedType>
      </ids:entity>
    </ids:partOf>
  </ids:requirements>
</ids:specification>
```

Requisito institucional (AIR/MIDP): *Cabines de Segurança Biológica devem estar localizadas/contidas no espaço identificado como "2-140B".*
Facets usadas: *Entity* + *Attribute* (Applicability) e *PartOf* (Requirements).
Cardinalidade/usage: *required* (o equipamento **tem de** estar contido num IfcSpace que satisfaça o padrão "2-140B").
Resultado esperado na validação: FAIL quando a cabine não estiver relacionada (IFCRELCONTAINEDINSPATIALSTRUCTURE) com o espaço correspondente; **PASS** quando estiver corretamente contida.

Figura 2 – Exemplo de estrutura de IDS em xml desenvolvido na plataforma usBIM – verificação espaço-equipamento. Fonte: a autora [16].

As disciplinas de projeto consideradas para a configuração dos IDS foram: Arquitetura, Estruturas, Fundações, Elétrica, Equipamentos de Laboratório, Mobiliário, HVAC, Automação, Instalações Hidrossanitárias, Incêndio, Gases, Urbanismo e Paisagismo, além da Coordenação Geral. Os IDS criados correspondem a verificações de atributos, classificações, materiais e propriedades nativas do IFC 4X3.

Para a disciplina de Arquitetura, por exemplo foram criados dois ficheiros de IDS separados, um para elementos construtivos e outro para os espaços, totalizando cerca de 435 regras de verificação. As regras de verificação são estruturadas a partir dos requisitos de informação, como apresenta a Figura 3, através de um exemplo de IDS desenvolvido para a classe IfcSpace.

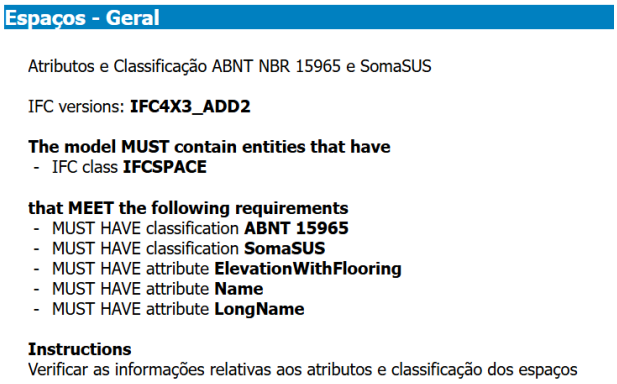


Figura 3 – Exemplo de IDS desenvolvido na plataforma usBIM – verificação de nomenclaturas e classificações para espaços. Fonte: a autora [16].

A Figura 4 apresenta o modelo IFC de Arquitetura no Bonsai. Na inspeção visual inicial, com a visualização por cores por entidade IFC, identificaram-se inconsistências de classificação: elementos que deveriam ser IfcCovering (por exemplo, rodapés com PredefinedType = SKIRTINGBOARD e molduras/cantos arredondados com PredefinedType = MOLDING) foram exportados como IfcWall. Como as regras de verificação do IDS utilizam filtros por entidade/classe IFC, esses elementos só são avaliados quando estão corretamente classificados; caso contrário, seus parâmetros e conjuntos de propriedades não são incluídos na verificação.

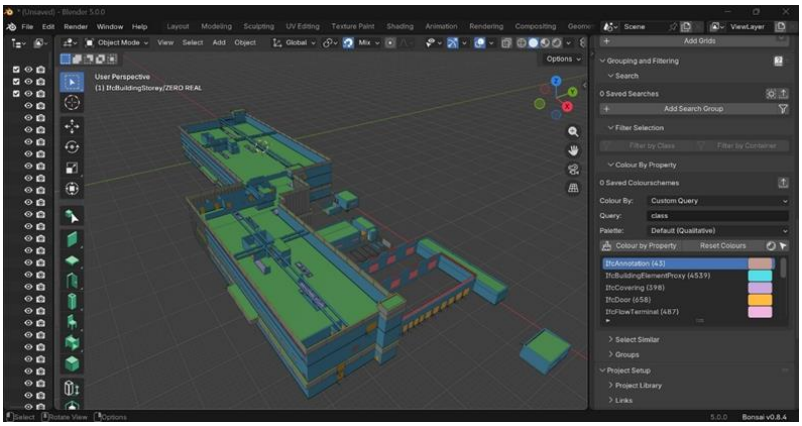


Figura 4: Modelo IFC de Arquitetura no Bonsai, com cores por classe. Fonte: a autora [16].

3. Resultados e Discussão

Foram testados 16 modelos IFC 4X3 do projeto do CPIVCES da fase de *as-built*. Somente no IDS de Arquitetura – Elementos Construtivos, há 363 regras distribuídas em 15 especificações. Já o IDS de Arquitetura – Espaços, possui 72 regras também para 15 especificações. Como exemplo, o relatório de atendimento aos requisitos de informação para o arquivo de IDS

Arquitetura – Elementos Construtivos foi de 11% e para o arquivo de IDS Arquitetura – Espaços foi de 10%, conforme apresenta a Tabela 1Tabela.

Tabela 1: Resultados dos testes dos IDS para as disciplinas de Arquitetura, Mobiliários, Equipamentos de Laboratório e Urbanismo. Fonte: a autora [16].

Disciplina	Requisitos totais	Requisitos atendidos	% atendimento aos requisitos
Arquitetura - Elementos Construtivos	363	41	11%
Coordenação - Geral	38	8	21%
Arquitetura - Espaços	72	7	10%
Mobiliários	41	3	7%
Equipamentos de Laboratório	195	3	2%
Coordenação - Geral	38	8	21%
Urbanismo	240	41	17%
Coordenação - Geral	38	8	21%

Como os testes foram realizados em modelos já consolidados e com requisitos de informação baseados em documentação pré-existente da Fiocruz, verificou-se que, embora a informação estivesse presente nos modelos nativos, encontrava-se frequentemente em parâmetros/propriedades criados fora do esquema IFC. Assim, a criação dos IDS visou também padronizar a localização da informação (classes, atributos e Psets), garantindo não só a validação automática, mas também a interoperabilidade para reutilização em plataformas de manutenção e gestão de ativos. Algumas propriedades foram ajustadas diretamente no IFC apenas como teste controlado, para avaliar o impacto da padronização nos resultados de conformidade.

Observou-se ainda que uma parte relevante das não conformidades resultou de mapeamento incorreto na exportação, com elementos atribuídos a classes IFC inadequadas, o que reduz a conformidade e evidencia que a definição explícita de classes e subtipos no requisito é pré-condição para uma verificação automática consistente. Neste contexto, a formalização em IDS implicou um incremento total de 1736 itens computáveis, decorrente do detalhamento de requisitos alfanuméricos e de quantidades e da inclusão de disciplinas e elementos não contemplados no conjunto comparativo inicial (MIDP e AIR da organização).

Tabela 2: Incremento dos requisitos de informação (IDS) na fase de *as-built* por disciplina [16].

Disciplina	MIDP (Fiocruz)	AIR (Fiocruz)	IDS (total)	Incremento (IDS−(MIDP+AIR))
Hidrossanitário, Incêndio e Gases	0	0	332	332
Arquitetura – Elementos Construtivos	94	0	363	269
Urbanismo e Paisagismo	0	0	240	240
Elétrica	13	0	207	194
HVAC	172	0	342	170
Equipamentos de Laboratório	0	44	195	151
Controles, Automação e Sensores	0	0	144	144
Fundação	0	0	90	90
Estruturas	39	0	113	74
Arquitetura – Espaços	23	8	72	41
Mobiliários	0	10	41	31
Coordenação – Geral	38	0	38	0
Total				**1736**

A Tabela 2 sintetiza este incremento e evidencia que uma parcela significativa se concentra em disciplinas fora do escopo inicial do EIR, como Instalações Hidrossanitárias, Incêndio e Gases, Controlo/Automação e Sensores, Urbanismo e Paisagismo. Este resultado indica lacunas no escopo original e reforça a necessidade de um mapeamento sistemático de requisitos por uso e por fase, alinhado com os usos BIM pretendidos pela Fiocruz.

Para quantificar os ganhos, comparou-se o esforço de verificação dos requisitos do MIDP e do AIR original em quatro modelos (Arquitetura, Mobiliário, Equipamentos e Urbanismo). No processo manual, a verificação de 209 requisitos em ficheiros nativos, com registo de evidências, exigia cerca de 2 dias. Após a formalização em IDS, os requisitos "macro" foram desagregados em verificações computáveis, totalizando 732 requisitos para estas disciplinas. No processo automatizado, considerando um ciclo completo (exportação IFC + execução do verificador), a validação passou a ser realizada em cerca de 2 horas para os quatro modelos. A execução do IDS no Bonsai (geração automática de relatórios) decorreu em 2–3 segundos por modelo, sendo o tempo remanescente associado à exportação, preparação dos ficheiros e análise dos resultados.

Para além do aumento de granularidade, a construção dos IDS exigiu explicitar relações IFC para suportar verificações do tipo *partOf*, frequentes em requisitos de sistemas e equipamentos. A validação automática produziu relatórios objetivos de não conformidades, reduzindo o tempo de diagnóstico e apoiando a definição de critérios de aceitação padronizados.

Como resultado, disponibilizaram-se os IDS e os relatórios dos testes aplicados aos modelos IFC *as-built* do CPIVCES, que sustentaram a proposta de revisão do EIR da Fiocruz, alinhada com o *Level of Information Need* e com a ABNT NBR ISO 19650. A disponibilização de IDS aos contratados tende ainda a tornar mais transparente e eficaz a medição do desempenho dos modelos relativamente à informação alfanumérica, com base em evidência verificável. Além disso, sabe-se do impacto no processo de controle de qualidade por parte do contratado, que precisará executar os testes de IDS antes da entrega dos produtos para a Fiocruz.

Este estudo de caso é orientado à padronização: não visa corrigir integralmente os modelos existentes, mas identificar lacunas recorrentes e convertê-las em requisitos verificáveis e critérios de aceitação para contratos futuros. A novidade reside na conversão sistemática de requisitos em IDS por disciplina, na interpretação dos resultados como diagnóstico para padronização (*templates* e mapeamentos de classes) e nas recomendações de exportação. O método é replicável noutras instituições mediante adaptação dos requisitos de informação e das diretrizes de modelação/exportação, sendo compatível com qualquer ambiente que utilize IFC e execute validação a partir de IDS.

4. Conclusões

Os resultados indicam que uma parcela substantiva dos requisitos de informação do EIR da Fiocruz é automatizável, permitindo deslocá-lo de um artefacto predominantemente descritivo para um instrumento operacional. Neste enquadramento, a conformidade passa a ser verificada de forma objetiva e reprodutível, reduzindo a dependência de interpretação humana e a variabilidade entre avaliadores, em alinhamento com a lógica de rastreabilidade e critérios de aceitação verificáveis preconizada pela ABNT NBR ISO 19650.

A principal contribuição operacional do trabalho é a adoção de IDS como mecanismo de especificação verificável, convertendo requisitos em regras de validação (entidades, atributos,

propriedades, classificações e relações). A validação empírica com modelos IFC do CPIVCES demonstrou a aplicabilidade do arcabouço em cenário real, evidenciando não conformidades recorrentes (propriedades ausentes, inconsistências de classificação, problemas de nomenclatura e de preenchimento de Psets, e assimetrias entre disciplinas). Assim, a validação automática revela-se tecnicamente viável e, sobretudo, capaz de produzir evidência objetiva sobre a qualidade da informação. Neste contexto, o Bonsai mostrou-se adequado para institucionalizar rotinas de verificação num fluxo openBIM, desde que apoiado por governação de *templates*, mapeamentos de exportação e padronização da informação.
A análise do incremento de requisitos por disciplina constitui ainda um mecanismo de priorização e maturação incremental, tornando o *Level of Information Need* aplicável de forma mensurável e sustentando uma proposta de revisão do EIR. Adicionalmente, a integração entre IFC, IDS, bSDD, BCF e openCDE reforça a viabilidade de um fluxo institucional interoperável, com preservação de dados ao longo do ciclo de vida. Como limitação, o IDS é particularmente eficaz para requisitos alfanuméricos e relações básicas, mas não cobre validações geométricas (distâncias, colisões) nem regras relacionais complexas com computações derivadas, exigindo motores complementares (*rule-checkers*) ou extensões em investigação. Recomenda-se, por fim, a criação de um bSDD orientado a tipologias de saúde e investigação, para estabilizar semântica e propriedades (URI), reduzir ambiguidades na padronização de *property sets* e classificações e harmonizar terminologia institucional com estruturas openBIM.
Conclui-se que o estudo estabelece uma base técnica e metodológica para transformar o EIR num instrumento efetivo de contratação, fiscalização e gestão da informação, ao permitir que requisitos sejam expressos como regras computacionais e sustentados por evidência auditável. Os artefactos produzidos (planilhas *Level of Information Need* e IDS, entre outros) tornam o procedimento replicável e escalável, particularmente relevante para instituições públicas, onde transparência, reprodutibilidade e preservação da informação são requisitos críticos.

Agradecimentos

Este trabalho foi apoiado pela FCT/MCTES no âmbito da Unidade de I&D Instituto para a Sustentabilidade e Inovação em Estruturas de Engenharia (ISISE), com as referências UID/4029/2025 (https://doi.org/10.54499/UID/04029/2025) e UID/PRR/04029/2025 (https://doi.org/10.54499/UID/PRR/04029/2025), e no âmbito do Laboratório Associado Produção Avançada e Sistemas Inteligentes ARISE com a referência LA/P/0112/2020.
Esta pesquisa foi apoiada pela Fiocruz, do Brasil, através do afastamento e da licença concedidos para capacitação no exterior, no âmbito do pós-doutoramento na Universidade do Minho, Escola de Engenharia (ISISE–DiCE).

Referências

[1] Brasil, "*Estratégia BIM-BR*," Governo Federal, 2019. [Online]. Available: https://www.gov.br/bim
[2] ISO, "*Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) - Information management using building information modelling - Part 1: Concepts and principles*," ISO 19650-1:2018.

[3] ISO, "*Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) - Information management using building information modelling - Part 2: Delivery phase of the assets*," ISO 19650-2:2018.
[4] ISO, "*Building Information Modelling — Level of Information Need — Part 1: Concepts and principles*," ISO/FDIS 7817-1:2024.
[5] ISO, "*Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing in the construction and facility management industries — Part 1: Data schema*," ISO 16739-1:2018.
[6] buildingSMART International, "*Information Delivery Specification (IDS)*." [Online]. Available: https://www.buildingsmart.org/standards/bsi-standards/information-delivery-specification-ids/
[7] S. Fisher, H. Urban, C. Schranz, P. Loibl, and L. van Berlo, "*Extending Information Delivery Specifications for Digital Building Permit Requirements*," Developments in the Built Environment, 2024.
[8] CHEK Consortium, "*CHEK - Change toolkit for Digital Building Permit*", Horizon Europe Project, Grant Agreement No. 101058559, 2022-2025. Disponível em: https://chekdbp.eu
[9] E. A. de Mendonça and S. L. Ferreira, "*Use case for Automated Code Compliance Checking of Accessibility Rules in BIM models using the IDS standard*," in *Proceedings of the 41st International Conference of CIB W78*, Marrakesh, Morocco, 2024, pp. 291-307. Available: http://itc.scix.net/paper/w78-2024-21.
[10] Fundação Oswaldo Cruz, *Caderno BIM Cogic-Fiocruz e anexos*. Rio de Janeiro: Fiocruz, 2024.
[11] ACCA Software S.p.A., "*Integração usBIM e IDS*." [Online]. Available: https://www.accasoftware.com/ptb/information-delivery-specification-ids
[12] Blender Foundation, "*Bonsai (add-on)*." [Online]. Available: https://extensions.blender.org/add-ons/bonsai/
[13] S. Pereira, E. Juvêncio, M. Vieira, and P. Abirached, "*Contratação integrada de obra emergencial em BIM: desafios e benefícios para um órgão público no Brasil*," in Proc. 5º Congresso Português de Building Information Modelling, Lisbon, 2024, pp. 461–472.
[14] buildingSMART Portugal, "*EIR – Fase Projeto – Obra Pública*." [Online]. Available: https://github.com/buildingSMART-Portugal/EIR-FaseProjeto-ObraPublica/blob/main/EIR.markdown
[15] A. Oliveira, J. Granja, M. Bolpagni, A. Motamedi, and M. Azenha, "*Development of standard-based information requirements for the facility management of a canteen*," Journal of Information Technology in Construction, vol. 29, pp. 281–307, 2024. [Online]. Available: https://www.itcon.org/paper/2024/14.
[16] S. Pereira, "*Um estudo sobre ferramenta e/ou padrão para automatização da verificação de requisitos de informação de projeto e de ativos em modelos BIM de organizações no Brasil e em Portugal*," Postdoctoral research report, Escola de Engenharia, Universidade do Minho, 2026.
[17] SOMASUS, "*Sistema de Apoio à Elaboração de Projetos de Investimentos em Saúde*." [Online]. Available: https://somasus.saude.gov.br/sistema/home.
[18] Brasil, Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), "*Resolução RDC nº 50: Regulamento técnico para planejamento, programação, elaboração e avaliação de projetos físicos de estabelecimentos assistenciais de saúde*." [Online]. Available: https://www.gov.br/anvisa/pt-br/assuntos/servicosdesaude/seguranca-do-paciente/legislacao.

12345

ABORDAGEM ONTOLÓGICA PARA A VALIDAÇÃO DE PROCESSOS EM AMBIENTES COMUNS DE DADOS

João Aleixo, João Couto, Miguel Azenha

ptBIM

ABORDAGEM ONTOLÓGICA PARA A VALIDAÇÃO DE PROCESSOS EM AMBIENTES COMUNS DE DADOS

João Aleixo [(1)], João Couto [(2)], Miguel Azenha [(3)]

(1) Universidade do Minho, CTAC & ISISE, ARISE, Departamento de Engenharia Civil, Guimarães, Portugal, 0009-0006-8560-9588
(2) Universidade do Minho, CTAC, Departamento de Engenharia Civil, Guimarães, 0000-0001-9607-0596
(3) Universidade do Minho, ISISE, ARISE, Departamento de Engenharia Civil, Guimarães, Portugal, 0000-0003-1374-9427

Resumo
Os Ambientes Comuns de Dados (CDE) assumem um papel cada vez mais preponderante no setor da Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação (AECO). Estas plataformas de gestão de informação estabelecem repositórios, estruturados e partilhados, onde convergem elementos como a informação, intervenientes, ferramentas e processos operacionais, essenciais para a concretização de projetos colaborativos.
Apesar disto, a implementação de procedimentos CDE continua fortemente dependente de plataformas proprietárias e abordagens pragmáticas, o que evidencia a persistência de um paradigma centrado em desenvolvimento, onde os atores do setor AECO adaptam os processos de Gestão de Informação (GI) à capacidade tecnológica das ferramentas ao seu dispor.
Neste artigo, propõe-se a caracterização semântica de processos de gestão de informação em projetos colaborativos, formalizando-os através de uma ontologia, de forma a possibilitar a integração tecnológica de procedimentos padronizados.
Através da definição ontológica de entidades e relações semânticas relativas aos processos de GI, complementada pela modelação de regras inferidas a partir dos padrões existentes, apresenta-se uma prova de conceito para a validação de processos em CDEs, demonstrando o potencial de uma abordagem operacionalizável, personalizável e escalável.

1. Introdução

Estima-se que a quantidade de informação digital produzida no setor da Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação (AECO) tenha aumentado exponencialmente ao longo da última década [1]. Este aumento, para o qual contribui a crescente adoção da metodologia BIM, introduziu novos desafios ao nível da Gestão da Informação (GI) [2]. Um dos principais desafios está relacionado com a estruturação, padronização e implementação dos processos

afetos à gestão da informação [3]. A complexidade da colaboração no setor AECO reforçou a necessidade de metodologias que potenciassem o tratamento e processamento de informação ao longo do ciclo de vida dos ativos [4]. Neste contexto, foi publicada, em 2018, a série ISO 19650 com o objetivo de estabelecer uma framework padronizada para a gestão de informação em ambientes BIM [5]. Entre a definição de requisitos administrativos e contratuais, esta série define os conceitos de Ambientes Comuns de Dados (CDE) como o repositório acordado para a salvaguarda, gestão e disseminação de informação, através de Blocos de Informação (IC), que constituem os conjuntos elementares de informação que suportam os processos de GI. Além destes, a norma ISO define o conceito de *Exchange Information Requirements* (EIR) como o conjunto de requisitos de informação num determinado projeto colaborativo. Como forma de assegurar a adequabilidade e rastreabilidade da informação, estes instrumentos definem requisitos processuais que incidem sobre a definição dos IC, nomeadamente ao nível dos metadados e nomenclatura dos mesmos. A definição de parâmetros como a convenção de nomenclatura e metadados para o estado e propósito da informação, revisão/versão e classificação são determinantes para a rastreabilidade e governação do processo colaborativo.

Apesar do avanço normativo, persistem desafios relevantes na implementação consistente destes requisitos [6], particularmente ao nível da gestão dos ICs em ambientes CDE. A natureza normativa destes requisitos pressupõe esforços manuais de interpretação e implementação [7], o que pode resultar em ambiguidades, erros e incoerências nos fluxos de trabalho. Na prática, a operacionalização destes pressupostos tende a ser mediada por soluções pragmáticas que exigem a adaptação dos requisitos às capacidades e limitações das ferramentas utilizadas [8]. Estas soluções são frequentemente implementadas através de ferramentas proprietárias, nas quais os requisitos processuais são acoplados a ambientes opacos [9], comprometendo a interoperabilidade processual da gestão de informação, reforçando dependências de fornecedores e dificultando a replicabilidade dos processos normativos [10].

Em resposta a estes desafios, este trabalho propõe uma abordagem suportada por tecnologias semânticas para a operacionalização de validações derivadas de processos padronizados de GI ao nível de Blocos de Informação em ambientes CDE.

Além da aplicação do paradigma semântico na representação e validação dos modelos, a literatura recente apresenta contributos na conceptualização de tecnologias semânticas para a gestão e governação da informação em ambientes BIM/CDE [11], contudo, a sua implementação em ambientes operacionais permanece limitada, sendo usualmente reportada sob a forma de demonstrações controladas com limitações de integração. A abordagem proposta neste artigo incide sobre a implementação de requisitos processuais, alavancados por um modelo semântico e conjuntos de regras de conformidade, através de um auditor implementável em plataformas digitais, capaz de verificar a conformidade dos metadados dos IC.

Este artigo está dividido em quatro secções principais que têm por objetivo apresentar o processo de investigação levado a cabo. Após a introdução, a secção 2 descreve a metodologia empregue para a orientação dos trabalhos. De seguida, na secção 3 é apresentada a abordagem de integração para o trabalho proposto, evidenciando as decisões tomadas e os procedimentos empregues para o desenvolvimento da metodologia proposta. Esta secção culmina com a demonstração da prova de conceito da *framework* desenvolvida, demonstrando os principais resultados e capacidades alcançados até ao momento atual da investigação. Por fim, na secção 4 serão elencadas as principais conclusões que derivam deste trabalho assim como abordados potenciais caminhos futuros para investigação.

2. Metodologia

A metodologia adotada neste trabalho desenvolve-se em três fases principais, iniciando-se com a modelação ontológica do domínio para assegurar a sua representação formal, prosseguindo com a formulação e modelação de regras de conformidade computacionalmente verificáveis, e culminando na operacionalização da abordagem através da sua integração numa plataforma CDE, de modo a demonstrar a sua aplicabilidade em contexto operacional controlado. Estas fases são conduzidas de forma interligada, contribuindo para um fluxo de desenvolvimento estruturado e coerente entre conceptualização, formalização e implementação.
A primeira fase consistiu na definição ontológica do domínio da gestão de informação em CDE, associado à governação de Blocos de Informação, de acordo com a lógica ISO 19650. Este processo visa formalizar os conceitos-chave, as entidades, as suas propriedades e relações, de forma a criar uma representação do conhecimento explícita e passível de ser processada computacionalmente. Foi utilizado como referência o documento Exchange Information Requirements para a fase de projeto em obras privadas, versão 1.1.3, publicado pela buildingSMART Portugal, em particular a sua componente orientada aos Blocos de Informação em CDE. A especificação deste domínio de aplicação serve de referência para a concretização dos processos de gestão de informação.
Uma vez estabelecida a ontologia do domínio, a segunda fase da metodologia consistiu na inferência e formalização das regras de conformidade utilizando a *Shapes Constraint Language* (SHACL). O objetivo desta fase consiste em traduzir os requisitos normativos e processuais da gestão de informação em *CDE*s em restrições lógicas explícitas e computacionalmente verificáveis. Esta análise permitiu identificar os critérios de validação para a partilha de Blocos de Informação em contexto *CDE*, abrangendo aspetos fundamentais como a nomenclatura e metadados impostos, tanto ao nível da sua especificação como do seu formato.
A última etapa da metodologia integra a modelação ontológica e as regras SHACL numa arquitetura funcional capaz de implementar a validação autónoma da informação. Neste sentido, foi desenvolvido um protótipo de motor de governação ontológica, que atua sobre um ambiente CDE, definido numa plataforma de CDE *open-source*. A arquitetura deste motor segue um ciclo processual de monitorização, validação e ação. A implementação procura operacionalizar regras normativas e requisitos processuais, reduzindo a necessidade de intervenção e interpretação manual. Assim, torna-se possível avaliar, num ambiente controlado, a hipótese de que é possível automatizar a validação de dados, bem como os procedimentos associados à governação da informação.

3. Implementação

3.1. Modelação ontológica para o domínio de Blocos de Informação em CDE

Nesta fase procedeu-se à modelação ontológica do domínio associado aos Blocos de Informação em ambientes CDE, com o objetivo de formalizar, de forma explícita e processável por máquina, o conhecimento necessário à representação e validação dos requisitos processuais do Bloco de Informação. De forma geral, a ontologia organiza-se em torno de uma entidade central, `Bloco de Informação`, e um conjunto de entidades que agregam diferentes atributos do IC, como `Metadado` e `Convenção de Nomenclatura`. Além disso, são definidas relações semânticas e valores normalizados para os parâmetros modelados, assegurando uma base

coerente para validação e automatização. O desenvolvimento do modelo ontológico foi orientado para a sua implementação, procurando garantir que os conceitos e relações modeladas são capazes de suportar a validação subsequente, bem como a operacionalização integrada no contexto do caso de estudo considerado. Futuramente, este modelo poderá ser expandido e revisto de forma a aumentar a abrangência sobre o domínio da Gestão de Informação.
A Figura 1 representa graficamente as classes e as principais relações do modelo ontológico.

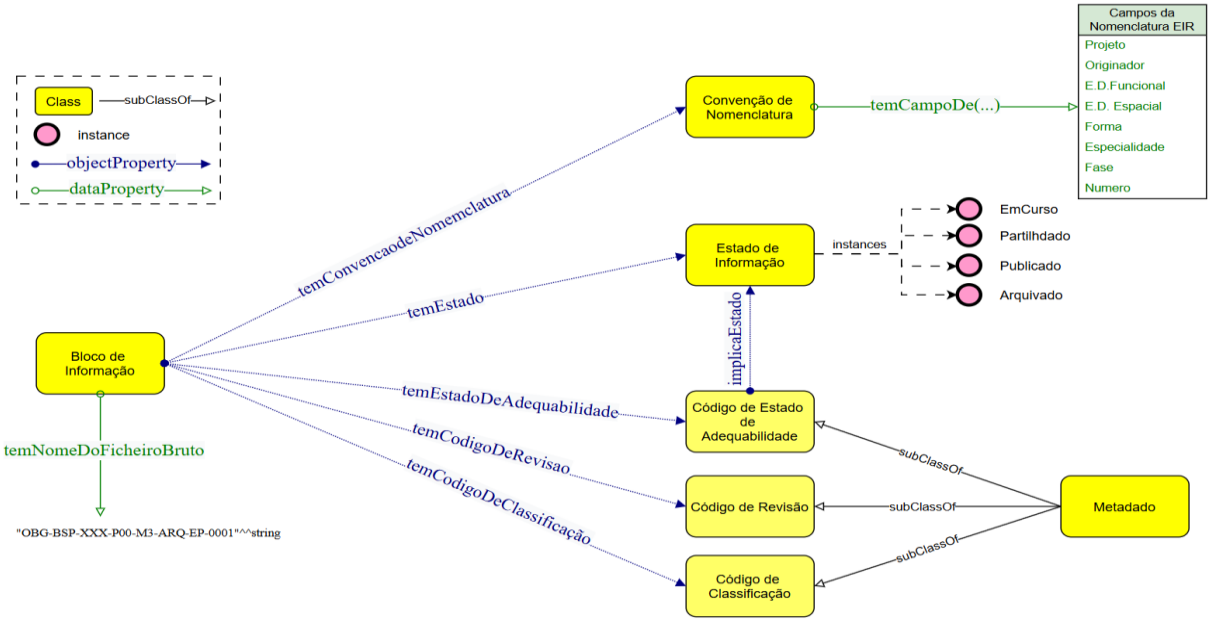


Figura 1 - Representação do modelo ontológico

Como forma de exemplificar o modelo e ilustrar a sua utilização, apresenta-se a componente de nomenclatura como exemplo representativo das relações definidas. Neste contexto, o `BlocoDeInformacao` é associado a uma `ConvencaoDeNomenclatura` por meio da relação `temConvencaoDeNomenclatura`, estabelecendo a ligação entre o contentor e a regra aplicável para composição do nome do ficheiro. A classe `ConvencaoDeNomenclatura` define a convenção de nomenclatura dos ICs apresentada no EIR, através da parametrização do valor do nome de um IC segundo os campos que compõem essa convenção, conforme o apresentado na Figura 1.
Este exemplo permite evidenciar tanto a relação entre o IC e a convenção de nomenclatura, como a relação interna entre a convenção e os seus campos, estabelecendo um modelo ontológico essencial para a validação SHACL apresentada na secção seguinte. Em paralelo, são igualmente modelados conceitos para representar os metadados, especificados na proposta de EIR, assim como as suas relações e propriedades. O modelo ontológico desenvolvido para este caso de estudo encontra-se disponível para consulta através desta ligação.
Deste modo, o modelo ontológico define a estrutura conceptual necessária para traduzir os requisitos do EIR em restrições formais verificáveis, assegurando que as relações e propriedades relevantes do Bloco de Informação podem ser avaliadas de forma objetiva. Na secção seguinte, estes requisitos são operacionalizados através da modelação SHACL, com enfoque na validação da convenção de nomenclatura e dos respetivos campos, produzindo resultados de conformidade integráveis no fluxo de validação e automatização do caso de estudo.

3.2. Modelação SHACL de regras de conformidade

Após a definição ontológica das classes e relações afetas ao domínio em estudo, procedeu-se à modelação de regras de validação destinadas a verificar a conformidade dos ICs com os requisitos processuais. Na fase atual da pesquisa, as regras modeladas incidem sobre a validação da presença e formato da nomenclatura de Blocos de Informação e dos metadados obrigatórios para as trocas de informação em ambientes CDE, como o Estado de Conformidade, a Revisão/Versão e Classificação da Informação, entre outros. Importa salientar que o conjunto de regras considerado não pretende cobrir integralmente todos os requisitos definidos no EIR, mas demonstrar a possibilidade de transformar requisitos processuais selecionados em restrições computacionalmente verificáveis. A seleção incidiu sobre requisitos diretamente observáveis ao nível do Bloco de Informação, nomeadamente nomenclatura e metadados obrigatórios, por constituírem uma primeira camada objetiva de validação da conformidade processual.

Estas regras de validação estão alinhadas com os requisitos definidos na proposta de EIR considerada e servem como prova de conceito para a validação de processos padronizados de gestão de informação em CDEs. A Tabela 1 sintetiza algumas das regras inferidas e consideradas para o presente caso de estudo, em linguagem natural.

Tabela 1 – Excerto das regras a considerar para validação de IC

Domínio	**Descrição da Regra**	**Referência**
A) Nomenclatura	1) Os blocos de informação devem estar nomeados de acordo com a convenção definida no EIR: <Projeto> – <Originador> – <E.D. Funcional> – <E.D. Espacial> – <Forma> – <Especialidade> – <Fase> - <Número>	EIR - 3.1.2
	2) O valor do campo “Projeto” deve ser exatamente “OBG”	EIR - 3.1.2 a)
	3) O campo "Originador" deve ter exatamente 3 caracteres.	EIR - 3.1.2 b)
	4) O campo “Número”, deve ser composto por exatamente 4 dígitos numéricos.	EIR - 3.1.2 h)
	5) Os campos "Forma", "Especialidade" e "Fase" devem usar um dos códigos predefinidos nas tabelas do EIR.	EIR - Tabelas A.1, A.2 e A.3
B) Metadados	1) O IC deve ter um metadado obrigatório relativo ao “Estado”, pertencente à lista dos códigos de projeto	EIR - Tabela B.1
	2) O IC deve ter um metadado obrigatório relativo à “Revisão”, de acordo com o formato estipulado	EIR - 3.1.3 b)
	3) O IC deve ter um metadado obrigatório relativo à “Classificação”	EIR - 3.1.3 c)

Com base nesta análise, procedeu-se à modelação SHACL das regras apresentadas com o propósito de as tornar interpretáveis por máquina e implementáveis sobre ambientes tecnológicos existentes. Esta recomendação do *World Wide Web Consortium* (W3C) constitui uma ferramenta para formalizar as regras de validação sobre grafos de conhecimento, nomeadamente em ambientes que utilizam o *Resource Description Framework* (RDF) e ontologias OWL.

Em vez de codificar a lógica de validação diretamente no software, o SHACL permite que as restrições sejam expressas através de *shapes*, que permitem descrever a estrutura e o conteúdo esperado dos dados. Desta forma, o SHACL facilita a verificação da consistência e qualidade dos dados em relação a um modelo conceptual subjacente, promovendo a interoperabilidade e a validação automatizada de requisitos complexos, como os extraídos de um EIR, em qualquer sistema que suporte este padrão. A Figura 2 apresenta a modelação SHACL da regra A1, relativa à estrutura da nomenclatura dos Blocos de Informação, identificando os termos do domínio ontológico e as componentes SHACL.

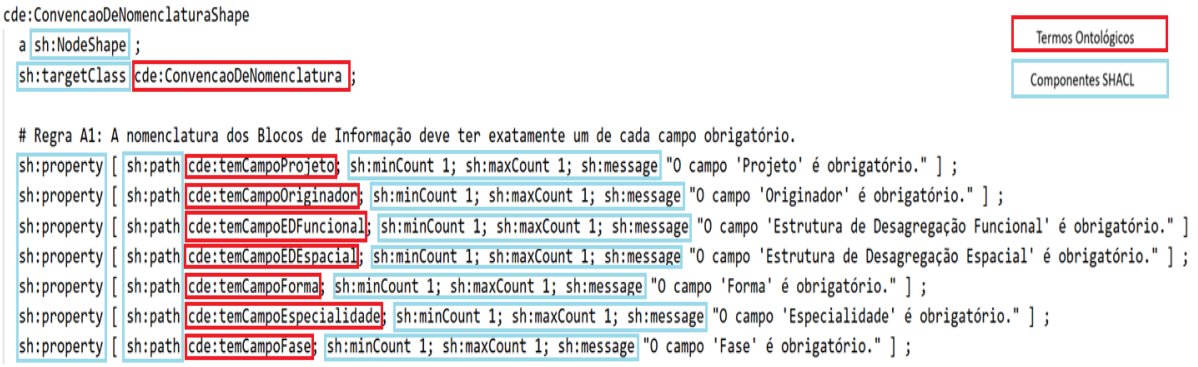


Figura 2 - Modelação SHACL da regra A1

Este passo possibilita uma mudança de paradigma ao nível da implementação de processos normativos, uma vez que permite a validação baseada no conhecimento inferido em vez de uma abordagem pragmática, baseada no desenvolvimento e métodos implícitos de uma determinada plataforma ou *software*. Este processo constitui um passo fundamental para a implementação digital de requisitos formais de trocas de informação, como os definidos no EIR, sob um paradigma orientado pelo conhecimento, contribuindo para a interoperabilidade processual dos pressupostos normativos.

3.3. Arquitetura de integração operacional

O protótipo de integração estabelece uma ponte funcional entre o modelo de conhecimento formalizado e uma implementação de CDE. Para este caso de estudo foi considerada a ferramenta *Nextcloud*, como implementação de CDE, uma vez que se trata de uma plataforma *open-source* que, apesar de não ser nativamente alinhada com os processos ISO, é programável e extensível para possibilitar a integração de mecanismos alinhados com esses requisitos normativos. Neste caso de estudo procedeu-se à implementação de capacidades de validação dos metadados dos Blocos de Informação.

A arquitetura do sistema implementado resulta da combinação de dois domínios principais, o domínio do *Nextcloud* e o domínio ontológico, para o desenvolvimento, em linguagem *Python,* de um auditor para o CDE. O *Nextcloud* assume o papel de repositório de informação, organizando os IC numa estrutura de pastas que reflete o ciclo de vida ISO 19650 e utilizando *tags* colaborativas para a definição de metadados. Com recurso ao *Nextcloud Flow*, o motor de automação nativo da plataforma, foi configurado um gatilho que dispara um *webhook* em casos de partilha de informação. Os dados do IC promovido são enviados, via API, para o auditor, de forma a dar início ao processo de validação. Esta API, desenvolvida com a framework *FastAPI*, estabelece a comunicação do CDE com o auditor semântico. Este artefacto é responsável por receber os dados do CDE, realizar o mapeamento semântico da informação e gerar um grafo

RDF representativo do IC. Para isto, são utilizadas as bibliotecas *requests*, para interagir programaticamente com as APIs do Nextcloud, e *rdflib*, para o mapeamento semântico da informação e geração de grafos RDF. Este grafo é então validado através do motor *pySHACL* contra as regras de conformidade pré-carregadas no ambiente de validação. Com base nos resultados da validação, o orquestrador executa ações na plataforma, como movimentação dos ficheiros para as diretorias correspondentes aos estados definidos e a adição de comentários detalhados de validação, completando assim o ciclo de auditoria e orquestração autónoma. A Figura 3 representa, de forma geral, a arquitetura do sistema desenvolvido.

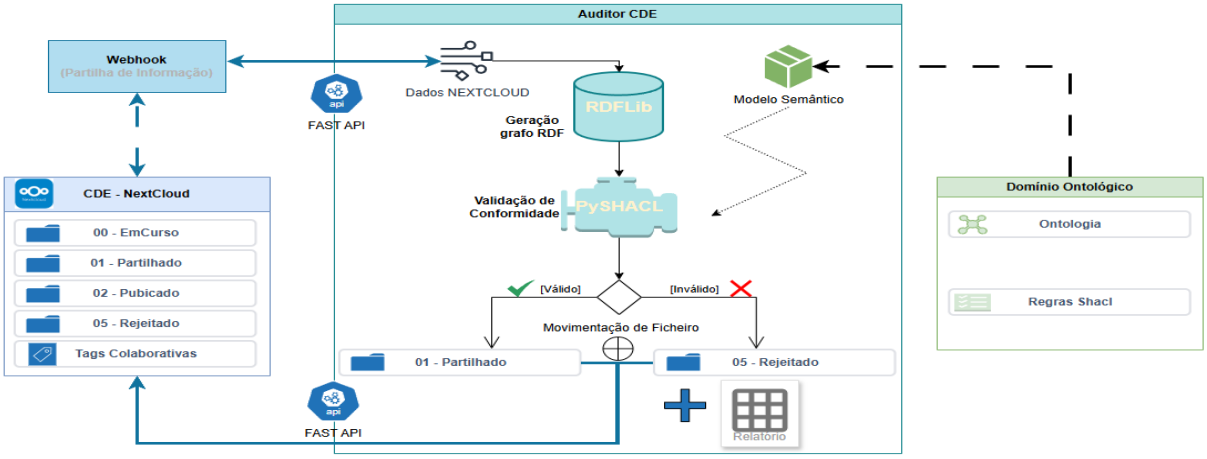


Figura 3 - Arquitetura geral do protótipo de integração

3.4. Demonstração da implementação

Tendo em conta o exposto anteriormente, a implementação proposta visa validar requisitos associados à definição de Blocos de Informação, alinhados com as orientações EIR e com o processo ISO 19650, na plataforma *Nextcloud*. A Figura 4 ilustra o processo de validação de um IC conforme com os requisitos EIR considerados.

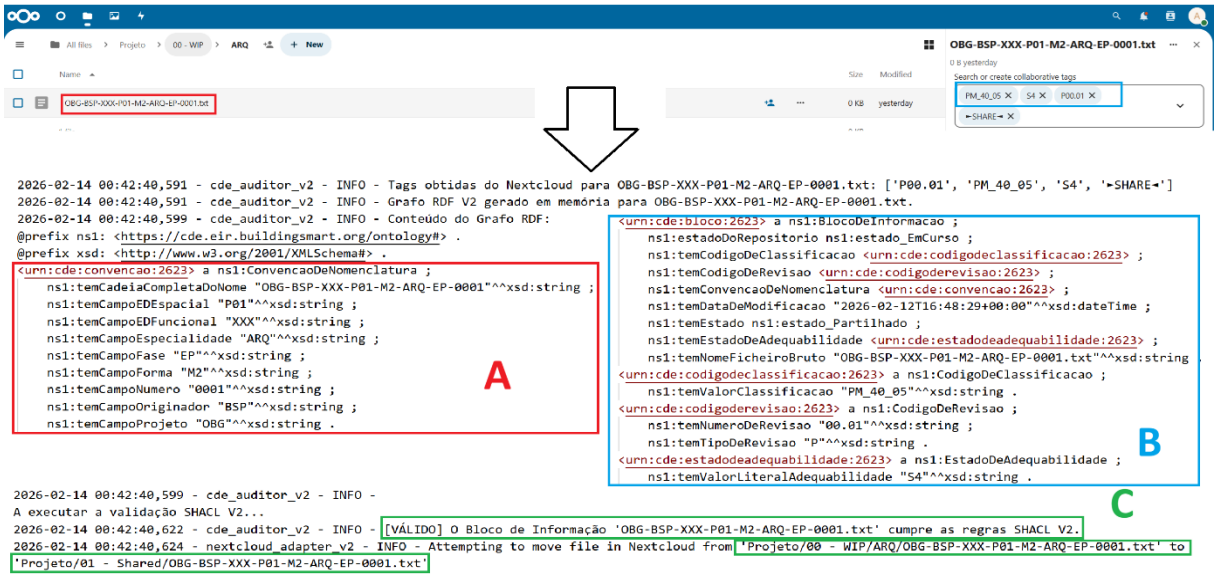


Figura 4 - Resultado da validação de um IC em conformidade com os requisitos EIR

Na Figura 4, os realces A, B e C evidenciam, respetivamente, a validação da nomenclatura, o mapeamento dos dados Nextcloud para RDF e o reporte de conformidade do IC, seguido da transição de estado em função da sua adequabilidade. Este passo demonstra a aplicabilidade da abordagem ontológica proposta para aferir e validar o cumprimento dos pressupostos definidos no EIR, contribuindo assim para a operacionalização destes requisitos através de um paradigma baseado no conhecimento.
Como complemento à demonstração, a Figura 5 apresenta o processo de validação para um caso de falha de conformidade, análogo ao exemplo anterior. Para esta demonstração, foi selecionado um exemplo de IC com erros de nomenclatura e omissão de metadados obrigatórios.

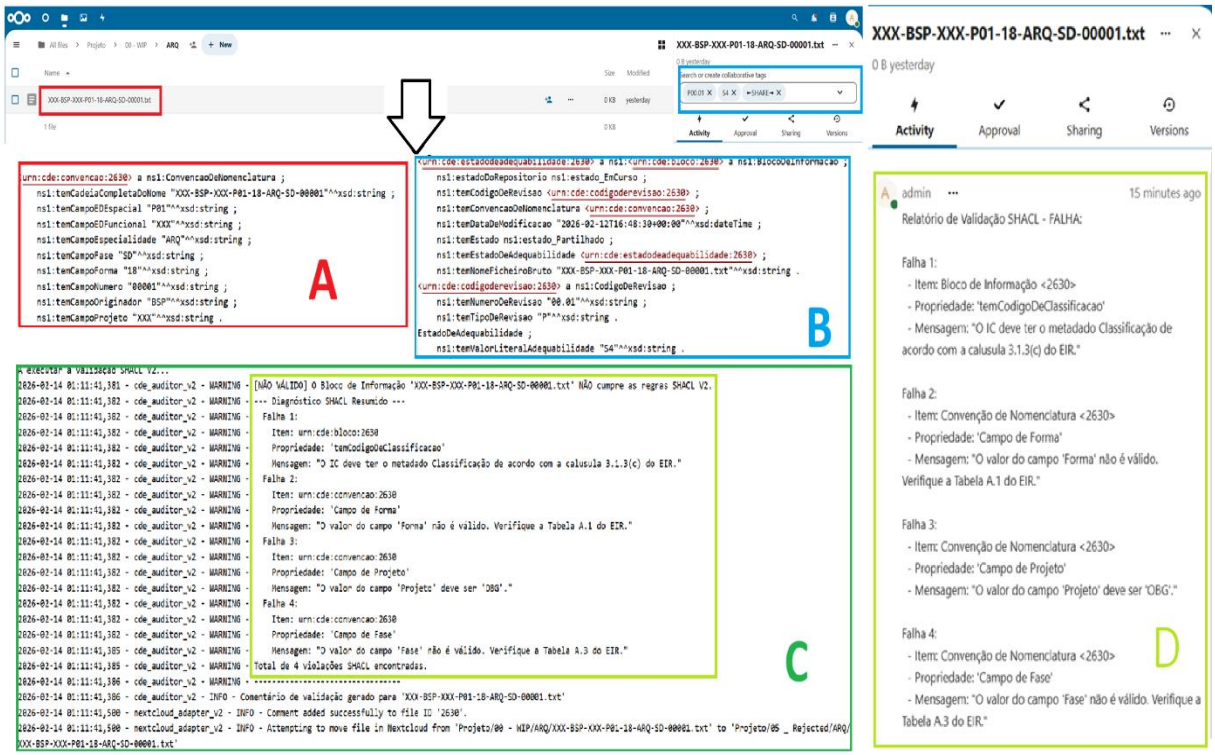


Figura 5 - Resultado da validação de um IC em não conformidade com os requisitos EIR

A Figura 5 evidencia, no realce C, as falhas de conformidade identificadas pela validação com recurso às regras SHACL. Como consequência deste resultado, o IC é movido para a diretoria especificada e são registadas, na plataforma CDE, as indicações de correção a realizar, conforme evidenciado pelo realce D.
A demonstração recorreu a ficheiros simulados, representativos de situações conformes e não conformes, permitindo isolar o ciclo funcional da abordagem: deteção do evento no CDE, mapeamento semântico, validação SHACL e execução de ações de governação. Embora este cenário não substitua a validação com dados reais de projeto, evidencia a aplicabilidade inicial de uma camada semântica para reduzir validações manuais e desacoplar requisitos normativos de lógicas internas de uma plataforma específica.

4. Conclusões

O trabalho apresentado demonstra a viabilidade de implementar uma abordagem suportada por modelos ontológicos para a validação de Blocos de Informação em ambientes CDE. Esta evidência demonstra que a definição e implementação ontológica, para validação e automatização de processos normativos, pode contribuir para aumentar a interoperabilidade processual e reduzir a dependência de lógicas pragmáticas específicas de desenvolvimento. Através desta abordagem, sustenta-se a premissa de que é possível modelar o conhecimento e reutilizá-lo em diferentes plataformas e etapas do ciclo de vida da informação de projeto. Ao adotar um paradigma baseado no conhecimento, passível de integração com plataformas tecnológicas existentes, a definição e validação de requisitos operacionais torna-se desacoplada da lógica de implementação interna de uma plataforma, permitindo maior transparência, portabilidade e consistência na governação dos fluxos de trabalho.
Como limitação principal, a prova de conceito apresentada cobre apenas um subconjunto dos requisitos EIR, centrando-se na nomenclatura e nos metadados obrigatórios dos Blocos de Informação. A validação foi realizada em ambiente simulado e numa única plataforma CDE, pelo que os resultados devem ser interpretados como uma verificação funcional da arquitetura, e não como uma avaliação sistemática de desempenho, escalabilidade ou portabilidade. Como desenvolvimento futuro, prevê-se a expansão das regras de conformidade para requisitos contextuais, incluindo a pertinência do IC face à etapa do projeto e aos requisitos de informação estabelecidos, bem como a realização de ensaios com dados reais, maior volume de ICs, métricas de desempenho e integração numa segunda plataforma CDE.

Agradecimentos

Este trabalho é financiado por fundos nacionais através da FCT – Fundação para a Ciência e Tecnologia, ao abrigo do contrato da bolsa 2024.02327.BDANA atribuída ao 1º autor. Este trabalho foi também apoiado pela FCT/MCTES através de fundos nacionais no âmbito da Unidade de I&D Centro de Território, Ambiente e Construção (CTAC), com a referência UID/4047/2025 (https://doi.org/10.54499/UID/04047/2025); no âmbito da Unidade de I&D Instituto para a Sustentabilidade e Inovação em Estruturas de Engenharia (ISISE), com as referências UID/4029/2025 e UID/PRR/04029/2025, e no âmbito do Laboratório Associado Produção Avançada e Sistemas Inteligentes ARISE com a referência LA/P/0112/2020. Este trabalho contou também com o apoio do pacto de inovação R2U Technologies | Modular Systems, através do Sistema de Incentivos Agência para a Competitividade e Inovação – IAPMEI, I.P., financiado pelo Plano de Recuperação e Resiliência (PRR); e da empresa Amais – Soluções de Engenharia, pelo acolhimento empresarial do 1º autor.

Referências

[1] A. Boiko, *Data-Driven Construction: Navigating the Data Age in the Construction Industry*, 2nd edn. 2025.
[2] A. Sompolgrunk, S. Banihashemi, H. Golzad, and K. Le Nguyen, ‘Strategic alignment of BIM and big data through systematic analysis and model development’, *Autom. Constr.*, vol. 168, p. 105801, Dec. 2024, doi: 10.1016/j.autcon.2024.105801.

[3] A. Yousfi *et al.*, 'A case-study investigating the integration of ISO 19650 and OpenBIM principles', presented at the International Conference on Computing in Civil and Building Engineering (ICCCBE), Montréal, Québec, Canada, 2024.
[4] J. Hetherington, and M. West, 'The pathway towards an Information Management Framework A "Commons" for Digital Built Britain', Centre for Digital Built Britain, 2020.
[5] International Organization for Standardization, *ISO 19650-1:2018 – Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) — Information management using building information modelling — Part 1: Concepts and principles*, ISO 19650-1:2018, 2018.
[6] P. Adekunle, C. Aigabvboa, W. Thwala, O. Akinradewo, and A. Oke, 'Challenges confronting construction information management', *Front. Built Environ.*, vol. 8, p. 1075674, Dec. 2022, doi: 10.3389/fbuil.2022.1075674.
[7] F. H. Abanda, B. Balu, S. E. Adukpo, and A. Akintola, 'Decoding ISO 19650 Through Process Modelling for Information Management and Stakeholder Communication in BIM', *Buildings*, vol. 15, no. 3, p. 431, Jan. 2025, doi: 10.3390/buildings15030431.
[8] D. Churcher, S. Davidson, M. Shana'a, and N. Pearson, 'Smart Standards - An approach to implementing ISO 19650-2 using tasks in a digital process', Construction Innovation Hub, 2021.
[9] R. Doe, K. Kaur, M. Selway, and M. Stumptner, 'Ecosystem interoperability for the architecture, engineering, construction & operations (AECO) sector', *J. Inf. Technol. Constr.*, vol. 29, pp. 347–376, Apr. 2024, doi: 10.36680/j.itcon.2024.017.
[10] Ž. Turk, 'Interoperability in construction – Mission impossible?', *Dev. Built Environ.*, vol. 4, p. 100018, Nov. 2020, doi: 10.1016/j.dibe.2020.100018.
[11] F. H. Abanda, A. Akintola, V. V. Tuhaise, and J. Tah, 'Bim Ontology for Information Management (Bim-Oim)', 2024, *SSRN*. doi: 10.2139/ssrn.4903340.

12345

GERAÇÃO AUTOMÁTICA DE MAPAS DE QUANTIDADES E TRABALHOS A PARTIR DE IFC: PROVA DE CONCEITO BASEADA NA WBS BUILDINGSMART PORTUGAL

Andressa Oliveira, Ricardo Simões, Marta Campos,
José Granja, Miguel Azenha, Ali Motamedi, José Lino

ptBIM

GERAÇÃO AUTOMÁTICA DE MAPAS DE QUANTIDADES E TRABALHOS A PARTIR DE IFC: PROVA DE CONCEITO BASEADA NA WBS BUILDINGSMART PORTUGAL

Andressa Oliveira [(1)], Ricardo Simões [(2)], Marta Campos [(3)], José Granja [(4)], Miguel Azenha [(5)], Ali Motamedi [(6)], José Lino [(7)]

(1) Universidade do Minho, ISISE, ARISE, Departamento de Engenharia Civil, Guimarães, Portugal, ORCID 0000-0002-2541-0212
(2) WALLNUT, Lisboa, Portugal, ORCID 0009-0002-0162-984X
(3) Magnético, Porto, Portugal, ORCID 0009-0000-5760-5375
(4) Universidade do Minho, ISISE, ARISE, Departamento de Engenharia Civil, Guimarães, Portugal, ORCID 0000-0002-0858-4990
(5) Universidade do Minho, ISISE, ARISE, Departamento de Engenharia Civil, Guimarães, Portugal, ORCID 0000-0003-1374-9427
(6) École de Technologie Supérieure, Montreal, Canadá, ORCID 0000-0002-7012-440X
(7) buildingSMART Portugal, Porto, Portugal, ORCID 0000-0002-1227-600X

Resumo
A quantificação em ambiente BIM é essencial para a preparação de Mapas de Quantidades de Trabalho (MQT), mas, na prática, continua frequentemente dependente de procedimentos manuais e pouco consistentes, sobretudo quando se recorre a modelos interoperáveis no formato IFC. Este artigo tem como objetivo apresentar uma prova de conceito técnica que permite configurar a correspondência entre elementos de um modelo BIM em IFC e itens de uma *Work Breakdown Structure* (WBS) existente, baseada na WBS desenvolvida pela buildingSMART Portugal (bSPT), viabilizando a automatização da extração de quantidades segundo critérios definidos pelo utilizador, sem abordar a construção teórica da WBS. A prova de conceito materializa-se numa aplicação para ambiente Windows (*app*), disponibilizada como executável (*.exe*) e através do repositório de código, e numa interface de visualização desenvolvida em Power BI. A *app* organiza o processo em três etapas: (i) personalização das descrições dos itens WBS; (ii) mapeamento entre WBS e IFC; e (iii) cálculo automático das quantidades a partir do modelo. Como resultados, a *app* gera dois ficheiros: (i) um ficheiro *.xls* estruturado segundo a WBS e correspondente a um MQT preenchido; e (ii) um ficheiro *.csv* passível de integração na interface de visualização que associa itens WBS à visualização do modelo. Esta integração é definida no Power BI associando a informação do ficheiro *csv* com o Speckle, plataforma digital que, no âmbito da Prova de Conceito, atua como um repositório de modelos BIM. A prova de conceito evidencia a possibilidade de articular, de forma consistente e replicável, uma estrutura de trabalhos com processos de quantificação baseados em IFC, contribuindo para maior padronização e automatização em fluxos BIM no contexto de Portugal.

1. Introdução

A quantificação no contexto da indústria da construção constitui uma atividade central para a preparação de mapas de trabalhos e quantidades, suportando processos de estimativa, planeamento e controlo [1]. A implementação de *Building Information Modelling* (BIM) no setor traz a crescente disponibilidade de modelos de informação, entretanto a extração de quantidades permanece, em muitos casos, dependente de procedimentos manuais, com fraca padronização, maior propensão a inconsistências e limitada replicabilidade entre projetos [2]. Quando este processo se baseia no esquema *Industry Foundation Classes* (IFC), torna-se particularmente relevante explicitar critérios para identificar, filtrar e quantificar elementos. A comunidade académica e a indústria têm desenvolvido abordagens para responder a este desafio, propondo métodos que automatizam a extração de quantidades a partir de modelos BIM, incluindo soluções baseadas em IFC [1]-[5]. Embora estes trabalhos indiquem ganhos de eficiência, consistência e rastreabilidade quando a informação do modelo é preparada para o objetivo de quantificação, a sua aplicação prática permanece frequentemente condicionada pela dependência de estruturas de medição e classificações de itens específicos de cada organização, limitando a comparabilidade e a reutilização entre projetos. Com o propósito de promover maior consistência na organização de medições, a buildingSMART Portugal (bSPT) desenvolveu, no âmbito do grupo de trabalho "WBS – Grupo de trabalho para concertação de uma listagem WBS", uma lista *Work Breakdown Structure* (WBS) padronizada para projetos de construção, constituindo uma referência para a harmonização da nomenclatura e para a estruturação de itens de trabalho no contexto português [6]. Nesta abordagem, a WBS estrutura a organização e a agregação das medições, permitindo consolidar as quantidades extraídas do modelo por item e apresentá-las num Mapa de Quantidades de Trabalho (MQT). No entanto, a adoção efetiva de uma WBS comum em fluxos baseados em IFC exige mecanismos que tornem explícita a correspondência entre itens da WBS e elementos do modelo. Acresce que, apesar da existência de abordagens semelhantes, não há ainda demonstração do mapeamento de um modelo IFC com base na WBS da bSPT e geração automática de documento de medições. Neste contexto, o presente artigo descreve uma prova de conceito técnica que consiste na definição e operacionalização de um mecanismo de mapeamento entre itens da WBS com classes e propriedades do IFC, permitindo configurar, de forma sistemática, os critérios de seleção e quantificação, suportando a geração automática de um MQT. O artigo organiza-se da seguinte forma: secção 2 apresenta projeto exemplo desenvolvido e Nível de Informação Necessário (*Level of Information Need*); secção 3 descreve o desenvolvimento da aplicação Windows para configuração e execução do mapeamento e do painel de visualização em Power BI; e secção 4 apresenta as conclusões. Os desenvolvimentos aqui apresentados são da responsabilidade exclusiva dos autores deste artigo, que integram apenas parte do grupo WBS da bSPT. Contudo, o grupo concordou com a disponibilização dos ficheiros desenvolvidos no site da bSPT [6].

2. Projeto exemplo

O desenvolvimento do projeto exemplo incluiu as seguintes etapas: o desenvolvimento da geometria de um modelo fictício da disciplina de estruturas (Figura 1); a seleção dos itens WBS relevantes no contexto do modelo fictício; a correspondência entre itens WBS e IFC; e a definição do nível de informação necessário para cara elemento do modelo fictício.

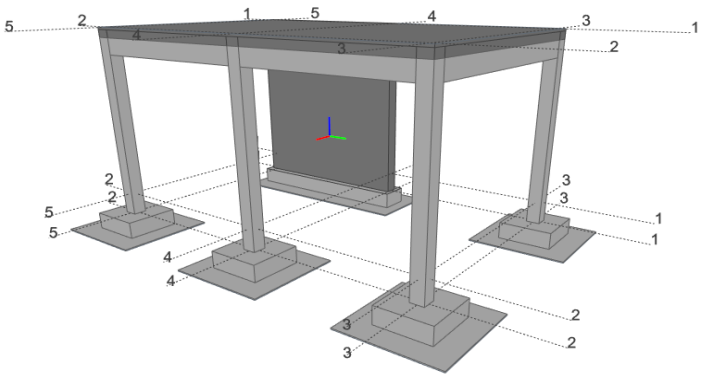


Figura 1: Visão tridimensional do modelo exemplo.

2.1 Mapeamento entre WBS e IFC

Após a definição geométrica do modelo, foi necessário mapear os elementos para as respetivas classes IFC, considerando o esquema IFC4. Este mapeamento constitui o ponto de partida para relacionar a estrutura de trabalhos (WBS) com os objetos do modelo, assegurando que a quantificação é extraída a partir de entidades IFC e propriedades coerentes com os itens a preencher. O mapeamento entre elementos e classes IFC está apresentado na Tabela 1.

Tabela 1: Mapeamento entre elementos do modelo e classes do esquema IFC 4.

Elemento	**IFC Class**	**Predefined Type**	**Object Type**
Betão de limpeza	*IfcPlate*	*USERDEFINED*	*CONCRETEBEDDING*
Sapata	*IfcFooting*	*PAD_FOOTING*	*n/a*
Pilar	*IfcColumn*	*COLUMN*	*n/a*
Parede estrutural	*IfcWall*	*SOLIDWALL*	*n/a*
Viga	*IfcBeam*	*BEAM*	*n/a*
Laje	*IfcSlab*	*FLOOR*	*n/a*

De seguida, foi realizada uma análise da WBS original para selecionar os itens que se relacionavam com a construção simulada do modelo exemplo. Os itens da WBS original selecionados e as correspondências entre itens, elementos e propriedades alfanuméricas são apresentados na Tabela 2. Para cada item selecionado, foi então definido como a informação necessária seria obtida a partir do IFC, nomeadamente: (i) que elementos seriam considerados; (ii) que propriedades alfanuméricas (incluindo *quantities*) seriam lidas; e (iii) como as quantidades seriam calculadas e organizadas para preencher o item WBS. Nos casos em que o IFC não continha propriedades nativas condizentes com a informação pretendida, foram definidas propriedades *user defined*. Todas as propriedades *user defined* foram também agrupadas em conjuntos de propriedades *user defined*. A presença do prefixo "PTBS_" indica que o grupo de propriedades e as propriedades contidas nele não são nativos do IFC (Tabela 2). Todos os itens mostrados na Tabela 2 são derivados do item 08 da WBS original "ELEMENTOS ESTRUTURAIS: BETÃO, COFRAGENS E ARMADURAS". Para o item 08.01 (Tabela 2), referente à quantificação de betão, as propriedades correspondentes a volume (*NetVolume*) e área (*NetArea*) foram obtidas a partir dos *quantity sets* associados a cada

IfcClass. Para os itens relativos a cofragem (08.02), foram definidas propriedades *user defined* que distinguissem, para o mesmo elemento, zonas de betão à vista e não à vista. Assim, optou-se por requerer *ExposedConcreteFormworkArea* e *UnExposedConcreteFormworkArea*, contendo a área final de cofragem para betão à vista e não à vista, respetivamente. Por fim, para o item relativo a armadura (08.03), optou-se pela propriedade *ReinforcementWeight*, em alternativa à propriedade nativa do IFC *ReinforcementVolumeRatio* do grupo *Pset_ConcreteElementGeneral*. Esta decisão decorreu do facto de na propriedade nativa expressar uma relação (rácio) e não um valor final em quilogramas, como requerido na WBS.

Tabela 2: Itens WBS mapeados a propriedades IFC.

WBS	**Elemento**	**Propriedade**	**Grupo de Propriedades**
08.01	BETÃO EM ELEMENTOS ESTRUTURAIS		
08.01.01	MOLDADO		
08.01.01.01.01	Betão de limpeza	*NetArea*	*Qto_PlateBaseQuantities*
08.01.01.01.03	Sapata	*NetVolume*	*Qto_FootingBaseQuantities*
08.01.01.03	Pilar	*NetVolume*	*Qto_ColumnBaseQuantities*
08.01.01.04	Viga	*NetVolume*	*Qto_BeamBaseQuantities*
08.01.01.05	Parede	*NetVolume*	*Qto_WallBaseQuantities*
08.01.01.06	Laje	*NetVolume*	*Qto_SlabBaseQuantities*
08.02	COFRAGENS E MOLDES		
08.02.01	COFRAGENS PARA BETÃO À VISTA		
08.02.01.01.02	Pilar	*ExposedConcreteFormworkArea*	*PTBS_FormworkQuantities*
08.02.01.01.03	Viga	*ExposedConcreteFormworkArea*	*PTBS_FormworkQuantities*
08.02.01.01.04	Parede	*ExposedConcreteFormworkArea*	*PTBS_FormworkQuantities*
08.02.01.01.05	Laje	*ExposedConcreteFormworkArea*	*PTBS_FormworkQuantities*
08.02.02	COFRAGENS PARA BETÃO NÃO À VISTA		
08.02.02.01.01.01	Sapata	*UnExposedConcreteFormworkArea*	*PTBS_FormworkQuantities*
08.02.02.01.03	Pilar	*UnExposedConcreteFormworkArea*	*PTBS_FormworkQuantities*
08.02.02.01.04	Viga	*UnExposedConcreteFormworkArea*	*PTBS_FormworkQuantities*
08.02.02.01.05	Parede	*UnExposedConcreteFormworkArea*	*PTBS_FormworkQuantities*
08.02.02.01.06	Laje	*UnExposedConcreteFormworkArea*	*PTBS_FormworkQuantities*
08.03	ARMADURAS EM ELEMENTOS ESTRUTURAIS		
08.03.01	ARMADURA ORDINÁRIA		
08.03.01.01.01	Sapata	*ReinforcementWeight*	*PTBS_ReinforcementInformation*
08.03.01.05	Pilar	*ReinforcementWeight*	*PTBS_ReinforcementInformation*
08.03.01.06	Viga	*ReinforcementWeight*	*PTBS_ReinforcementInformation*
08.03.01.07	Parede	*ReinforcementWeight*	*PTBS_ReinforcementInformation*
08.03.01.08	Laje	*ReinforcementWeight*	*PTBS_ReinforcementInformation*

2.2 Nível de Informação Necessário

Foram elaboradas tabelas de requisitos de informação de acordo com a metodologia do Nível de Informação Necessário [7], com enfoque exclusivo na informação alfanumérica requerida. Para além das propriedades que contêm as quantidades finais descritas na secção anterior, definiram-se também propriedades alfanuméricas adicionais, necessárias para a filtragem dos elementos no modelo. Ou seja, no exemplo apresentado na Tabela 4, relativo ao Nível de Informação Necessário de uma parede estrutural, para além das propriedades indicadas na Tabela 3, foram ainda requeridas as propriedades *LoadBearing*, com valor "*TRUE*", para identificar que a parede é efetivamente estrutural, e *ConstructionMethod*, com valor "*In-Situ*", garantindo a diferenciação destes elementos no âmbito do item "08.01.02 MOLDADO", conforme a estrutura da WBS original. Adicionalmente, foi requerida a propriedade *WbsGrouping*, com o objetivo de permitir a organização posterior da WBS preenchida, ou MQT. Esta propriedade suporta cenários em que elementos do mesmo tipo apresentam características dimensionais distintas (e.g., paredes de 200 mm vs. 300 mm) e devem, por isso, ser descritos em linhas separadas no MQT. Após a definição do Nível de Informação Necessário para cada elemento, o modelo foi atualizado, concluído e exportado para IFC.

Tabela 3: Informação alfanumérica requerida para elementos do tipo "Parede Estrutural".

Objeto:			**Paredes**
Classe IFC			*IfcWall*
Atributos			
Predefined Type			*SOLIDWALL*
Classificação			
Sistema	**Tabela**		
SECClasS	*Produtos*		*Pr_20_93_85_14*
Conjunto de propriedades			
Propriedade	**Unidade**	**Conjunto de propriedades**	
LoadingBearing	*n/a*	*Pset_WallCommon*	*TRUE*
ConstructionMethod	*n/a*	*Pset_ConcreteElementGeneral*	*In-Situ*
NetVolume	m^3	*Qto_WallBaseQuantities*	*X*
UnExposedConcreteFormworkArea	m^2	*PTBS_FormworkQuantities*	*X*
ExposedConcreteFormworkArea	m^2	*PTBS_FormworkQuantities*	*X*
ReinforcementWeight	*kg*	*PTBS_ReinforcementInformation*	*X*
WbsGrouping	*n/a*	*PTBS_Identification*	*X*
Material			
Name			*Concrete*

X = objeto deve conter a propriedade, mas não há valor especificamente requerido

3. Aplicação Windows

A etapa seguinte da prova de conceito consistiu no desenvolvimento de uma aplicação para ambiente Windows (doravante, *app*), destinada a extrair quantidades de um modelo em IFC e a gerar uma WBS preenchida (MQT). A *app* não efetua verificação do modelo, assumindo-se que (i) os modelos utilizados cumprem o Nível de Informação Necessário definido para o objetivo e (ii) o mapeamento é efetuado de forma correta. O código desenvolvido está disponível num repositório GitHub, onde também pode ser consultada a documentação detalhada da implementação [8], sendo a versão final correspondente a uma versão de testes.

3.1 Desenvolvimento da aplicação

A *app* estrutura o processo em três etapas independentes (Figura 2), executáveis de forma sequencial ou faseada. O principal input é o ficheiro *.xls* que contém a WBS desenvolvida pela bSPT (WBS original), sendo o output final um Mapa de Quantidades de Trabalho (MQT) preenchido. Ao longo do processo, são produzidos ficheiros intermédios: quando a execução é sequencial, estes são transferidos automaticamente entre etapas; quando a execução é faseada, podem ser descarregados no final de cada etapa, permitindo retomar o fluxo posteriormente. Esta independência é particularmente útil em projetos de maior dimensão e favorece a criação de ficheiros padrão reutilizáveis noutros projetos. A aplicação contém quatro abas (Figura 3). A aba inicial "*Home*" (Figura 3a) funciona como ponto de entrada e redireccionamento, apresentando perguntas orientadoras para encaminhar o utilizador para a etapa apropriada. As três abas seguintes correspondem diretamente às três etapas ilustradas na Figura 2.

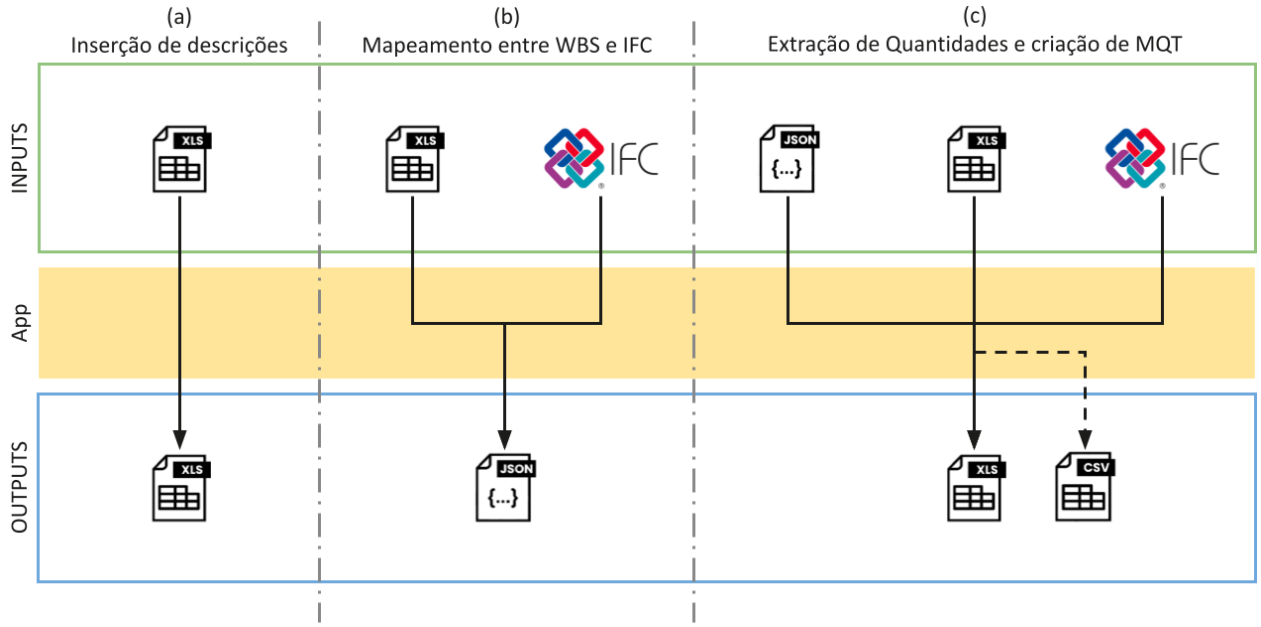


Figura 2: *Inputs*, *outputs* e visão geral do funcionamento da *app* por etapas.

- Inserção de Descrições (Figuras 2a)

Esta etapa corresponde à aba "WBS e descrição" (Figura 3b). A WBS original é analisada para identificar explicitamente as colunas "Nível", "WBS", "Descrição" e "Uni.", por conterem informação necessária ao MQT final. Em seguida, os itens são apresentados ao

utilizador, que pode adicionar descrições personalizadas. No final, é gerado o ficheiro intermédio "WBS_ComDescricao.xls", que mantém a estrutura da WBS original e incorpora as descrições introduzidas, exceto nos itens sem descrição. Este ficheiro permite, por exemplo, que uma organização mantenha um ficheiro base com descrições padronizadas, aplicável a múltiplos projetos, reduzindo esforço em utilizações futuras.

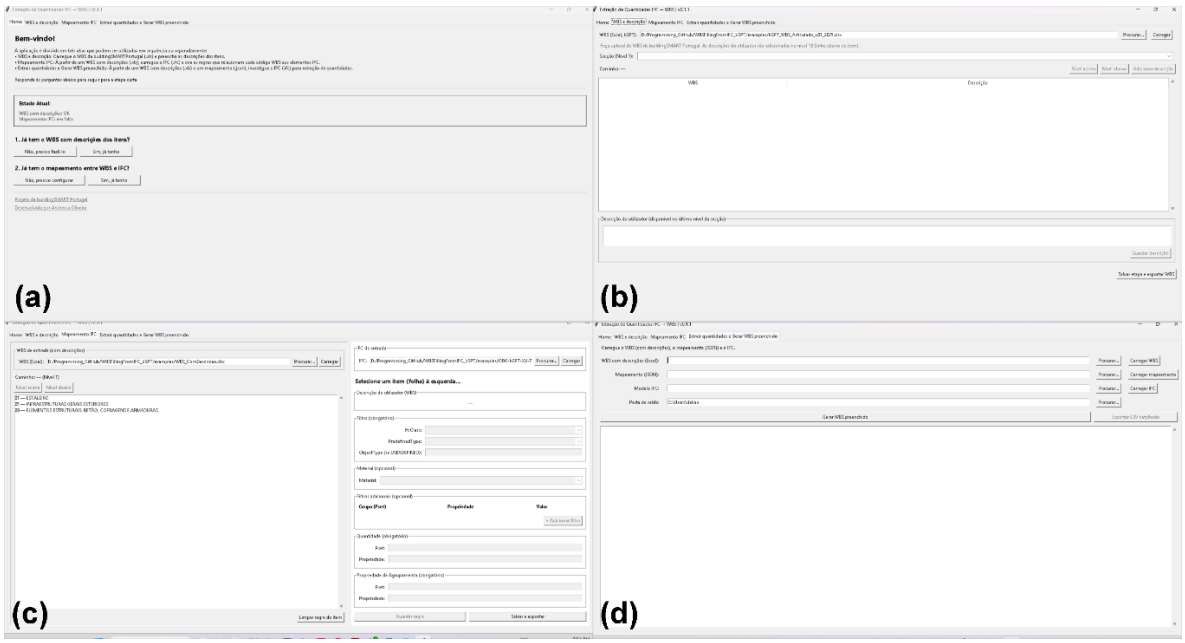


Figura 3: Interface da app. Aba *Home* (a), aba WBS e descrição (b), aba Mapeamento IFC (c), e aba Extrair quantidades e Gerar WBS preenchido (d).

- Mapeamento entre WBS e IFC (Figura 2b)

Esta etapa ocorre na aba "Mapeamento IFC" (Figura 3c). Os *inputs* são o ficheiro *.xls* resultante da etapa anterior e o ficheiro IFC do projeto, e o *output* é o ficheiro "mapeamento_ifc.json". Nesta etapa, o utilizador define explicitamente a relação entre cada item do "WBS_ComDescricao.xls" e os elementos do modelo em IFC, especificando: (i) que elementos são considerados, (ii) de que propriedades a informação é extraída e (iii), opcionalmente, como os elementos são organizados no documento final. O mapeamento é realizado através de cinco secções na aplicação. Considera-se, a título de exemplo, o mapeamento do item 08.01.01.05 da WBS (Tabela 2). Na secção "Filtro (obrigatório)", são disponibilizadas listas suspensas com *IFC Classes*, *Predefined Types* e *Object Types* extraídos do IFC; neste exemplo, selecionar-se-iam IfcWall e STANDARDCASE para os dois primeiros campos, mantendo o terceiro vazio (Tabela 4). Na secção "Material (opcional)", é possível restringir os elementos por material; no exemplo, selecionar-se-ia *Concrete*. Em "Filtros adicionais (opcional)", podem ser definidos requisitos adicionais com base em propriedades e valores; neste caso, *LoadBearing* = *TRUE* e *ConstructionMethod* = In-Situ (Tabela 4). Na secção "Quantidade (obrigatório)", define-se a propriedade a partir da qual a *app* extrai o quantitativo; para o volume de betão, indicar-se-ia *NetVolume*. Por fim, a secção "Propriedade de Agrupamento (opcional)" permite indicar a propriedade usada para organizar a saída. No exemplo, seria utilizada *WbsGrouping*, podendo o modelo conter, por exemplo, a largura da parede como valor (200

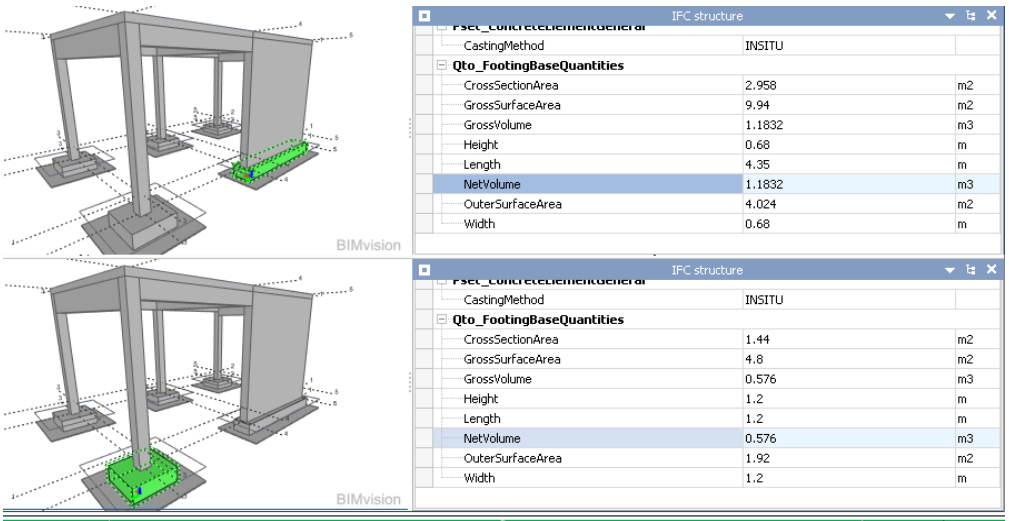
mm). Assim, num cenário com paredes de diferentes larguras, a WBS preenchida apresentaria linhas distintas para o mesmo item, com as quantidades (m³) agregadas por grupos de diferentes larguras.

- Extração de quantidades e criação de MQT (Figura 2c)

Correspondente a aba final "Extrair quantidades e Gerar WBS preenchido" (Figura 3d). Os *inputs* desta etapa são o ficheiro "mapeamento_ifc.json", o ficheiro "WBS_ComDescricao.xls" e o ficheiro IFC do projeto. Na interface, o botão "Gerar WBS preenchido" inicia a varredura do ficheiro IFC para extração de quantidades segundo as regras definidas em "mapeamento_ifc.json", e gera um ficheiro final em *.xls* que contém a estrutura organizada segundo a WBS original, incluindo as descrições do utilizador e as quantidades extraídas do modelo, agregadas por item, resultando num MQT preenchido. O botão "Exportar CSV detalhado" gera um ficheiro *.csv* com a listagem individualizada dos elementos investigados, incluindo informação adicional como GUID, classes IFC, códigos de classificação e pisos. Este ficheiro funciona como registo de rastreabilidade dos elementos varridos e como *input* para a interface de visualização em Power BI desenvolvido na etapa final desta prova de conceito (secção 3.3).

3.2 Uso da aplicação no projeto exemplo

Por fim, a *app* desenvolvida foi utilizada para extrair as quantidades do modelo exemplo apresentado na secção 2.1. A Figura 4 evidencia a equivalência entre as quantidades observadas no modelo IFC e aquelas que constam dos *outputs* finais da *app*, confirmando a leitura correta dos quantitativos a partir do modelo IFC e o respetivo mapeamento para os itens da WBS.



WBS	DESCRIÇÃO	QDTE.	UNID.
08	ELEMENTOS ESTRUTURAIS: BETÃO, ARMADURAS E COFRAGENS		
08.01	BETÃO EM ELEMENTOS ESTRUTURAIS		
08.01.01	MOLDADO		
08.01.01.01	Fundações		
08.01.01.01.03	Sapatas		
08.01.01.01.03.01	Fornecimento e colocação de betão da classe C25/30, XC2, CL 0.4, Dmáx 20 mm, S4, aplicado e vibrado em elementos estruturais, incluindo transporte, bombagem, vibração, compactação, cura, furações, negativos, carotagens e todos os fornecimentos e trabalhos inerentes, em conformidade com Peças Escritas e Desenhadas.		
08.01.01.01.03.01.01	1200 x 1200 x 400 mm	2.304	m3
08.01.01.01.03.01.02	4350 x 680 x 400 mm	1.1832	m3

Figura 4: Equivalência nas quantidades visualizadas no modelo e no MQT final.

3.3 Interface de visualização

Para a visualização dos resultados, utilizou-se o Power BI, uma aplicação de *Business Intelligence* que permite a agregação, análise e visualização de grandes volumes de dados. O processo de desenvolvimento desta interface (Figura 5) foi estruturado em três etapas: (i) gestão do modelo, (ii) relacionamento entre bases de dados e (iii) configuração da interface. A gestão do modelo recorreu à plataforma *open-source* Speckle, uma plataforma digital que permite a comunicação de dados geométricos via *web*, sem necessidade de *software* de autoria. Numa segunda fase, procedeu-se à importação do ficheiro *csv* do MQT, bem como à ligação ao Speckle através de um conector. A correspondência entre ambas fontes de informação foi garantida através da propriedade *Global Unique Identifier* (GUID), estabelecendo uma relação direta entre os elementos do modelo e a informação no *csv*. Por fim, a interface foi concebida para integrar o articulado do MQT numa tabela, o modelo BIM num visualizador 3D interativo e um conjunto de gráficos para possibilitar uma análise qualitativa dos componentes do modelo.



Figura 5: Interface de visualização desenvolvida no *Power BI.*

4. Conclusão

A prova de conceito confirma a viabilidade de estabelecer uma ligação estruturada entre uma WBS padronizada e um modelo IFC, suportando a extração de quantidades através de um mapeamento configurável pelo utilizador. A formalização das regras de seleção, filtragem e cálculo permite tornar o processo mais consistente e replicável, sobretudo quando o fluxo é executado por etapas independentes e o mapeamento é guardado para reutilização em projetos com estrutura semelhante. Contudo, a eficácia da automatização depende da qualidade e completude da informação no modelo em IFC; quando essa informação é insuficiente ou pouco fiável, a automatização pode ser inviável. Por se tratar de uma prova de conceito, existem ainda limitações de generalização, ainda que o trabalho demonstre, de forma prática, a aplicabilidade da WBS da buildingSMART Portugal num fluxo de quantificação baseado em IFC.

Agradecimentos

Agradece-se à buildingSMART Portugal e, em particular, aos grupos de trabalho "WBS – Grupo de trabalho para concertação de uma listagem WBS" e "EIR III – EIR para a etapa de construção" (informações sobre grupos de trabalho da buildingSMART Portugal: https://buildingsmart.pt/grupos-de-trabalho/). Agradece-se ainda ao Tiago Teixeira pela colaboração nas etapas iniciais do trabalho. Este trabalho é financiado por fundos nacionais através da FCT – Fundação para a Ciência e Tecnologia, ao abrigo do contrato da bolsa [PRT/BD/154416/2023] atribuída ao 1º autor, no âmbito do Programa MIT Portugal. Este trabalho foi também apoiado pela FCT/MCTES no âmbito da Unidade de I&D Instituto para a Sustentabilidade e Inovação em Estruturas de Engenharia (ISISE), com as referências UID/4029/2025 (https://doi.org/10.54499/UID/04029/2025) e UID/PRR/04029/2025 (https://doi.org/10.54499/ UID/PRR/04029/2025), e no âmbito do Laboratório Associado Produção Avançada e Sistemas Inteligentes ARISE com a referência LA/P/0112/2020.

Referências

[1] B. Ferreira Silva, «Metodologia BIM no apoio à medição de quantidades Engenharia Civil», Tese de Mestrado, Universidade de Lisboa, Lisboa, Nov. 2016.

[2] D. Fürstenberg, E. Hjelseth, O. J. Klakegg, J. Lohne, e O. Lædre, «Automated quantity take-off in a Norwegian road project», *Sci. Rep.*, vol. 14, n. 1, Dez. 2024, doi: 10.1038/s41598-023-50486-6.

[3] B. Sherafat, H. Taghaddos, e E. Shafaghat, «Enhanced automated quantity take-off in building information modeling», *Scientia Iranica*, vol. 29, n. 3 A, pp. 1024–1037, Mai. 2022, doi: 10.24200/SCI.2021.56668.4847.

[4] L. R. J. de Sousa, «Machine learning framework for an automated BOQ task-matching process», Dez. 2025. Acedido: 3 de Fevereiro de 2026. [Online]. Disponível em: https://sigarra.up.pt/feup/pt/pub_geral.pub_view?pi_pub_base_id=755658

[5] S. A. CYPE Ingenieros, «Open BIM Quantities». Acedido: 3 de Fevereiro de 2026. [Online]. Disponível em: https://info.cype.com/pt/software/open-bim-quantities/

[6] buildingSMART Portugal, «Recursos». Acedido: 27 de Janeiro de 2026. [Online]. Disponível em: https://buildingsmart.pt/recursos/

[7] International Organization for Standardization [ISO], «ISO 7817-1. Building information modelling — Level of information need. Part 1: Concepts and principles», 2024. [Online]. Disponível em: www.iso.org

[8] A. Oliveira, «WBSFillingFromIFC_bSPT», 2025, *Zenodo*. doi: 10.5281/zenodo.18489649.

12345

DA WBS AO MQT - O OPENBIM COMO PADRÃO PARA A EXTRAÇÃO AUTOMÁTICA DE QUANTIDADES

Marta Campos, Paula Couto, Sofia Henriques, Ricardo Simões, Andressa Oliveira

ptBIM

DA WBS AO MQT - O OPENBIM COMO PADRÃO PARA A EXTRAÇÃO AUTOMÁTICA DE QUANTIDADES

Marta Campos[(1)], Paula Couto[(2)], Sofia Henriques[(3)], Ricardo Simões[(4)], Andressa Oliveira [(5)]

(1) buildingSMART Portugal, Porto, ID ORCID 0009-0000-5760-5375
(2) LNEC, Lisboa, ID ORCID 0000-0002-2663-3565
(3) TPF Consultores, Lisboa, ID ORCID 0009-0000-5941-50141
(4) WALLNUT, Lisboa, ORCID 0009-0002-0162-984X
(5) Universidade do Minho, ISISE, ARISE, Departamento de Engenharia Civil, Guimarães, ORCID 0000-0002-2541-0212

Resumo
Um dos problemas do setor AECO em Portugal é a ausência de um consenso que defina a organização do MQT (Mapa de Quantidades e Trabalhos), isto é, a sua estrutura de base, em inglês a *Work Breakdown Structure* (WBS). Este facto, tem como consequência diversos problemas, mal-entendidos e ineficiências na interpretação e gestão da informação que este documento pretende veicular ao longo da cadeia de valor.
A *buildingSMART* Portugal propôs-se desenvolver uma WBS como base para o MQT, com a participação de especialistas do setor AECO, que envolveu toda a cadeia de valor que produz, interpreta e utiliza este documento para o desenvolvimento das suas atividades, e em paralelo, regras de medição ancoradas na metodologia *openBIM*, nomeadamente no esquema IFC.
A WBS obtida é uma estrutura de classificação de trabalhos, intuitiva na sua utilização, abrangendo todos os trabalhos de construção de Edifícios, todas as especialidades de projeto envolvidas e todos os intervenientes nas fases de conceção, projeto e obra. Alguns dos desafios ultrapassados no desenvolvimento desta estrutura incluíram a desagregação de trabalhos, o agrupamento por ofícios e algumas decisões mais disruptivas. O artigo apresenta a WBS desenvolvida e uma prova de conceito para demonstrar a sua aplicação na prática.

1. Introdução

O setor AECO (Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação) tem passado, nas últimas décadas, por inúmeras transformações e modernizações dos seus procedimentos, tanto no âmbito dos processos de conceção de projeto, como no modo de construir, planear e gerir os empreendimentos. Relativamente à conceção e ao planeamento das construções, a metodologia BIM (*Building Information Modelling*) impôs novos desafios a este setor, nomeadamente quanto à transformação digital, reestruturando por completo a forma de projetar. As novas

tecnologias de informação possibilitaram repensar a forma de transmissão da informação e estão no centro da modernização do setor na Europa, e mais recentemente em Portugal [1].
O BIM permite a representação digital dos empreendimentos, associando a descrição geométrica num modelo tridimensional às diversas informações sobre componentes e materiais de construção, funções e atividades espaciais. O modelo, para além de cumprir as funções tradicionais de conceção do projeto e suporte da construção como a deteção de conflitos, quantificação e estimativa de custos, alimenta simulações de energia e iluminação, análises de ciclo de vida e ainda pode ser incorporado em plataformas de gestão de edifício [3].
O aumento da complexidade no setor AECO e o desenvolvimento da metodologia BIM vieram gerar mais informação relacionada com os empreendimentos de construção, criando a necessidade de interoperabilidade entre sistemas (openBIM) e promovendo a ligação entre a normalização dos objetos BIM e os Sistemas de Classificação de Informação da Construção (*Construction Information Classification Systems* - CICS). Os CICS permitem a organização de forma racional, o apoio e a recuperação de informação, tendo como objetivo a troca de informação ao longo de todo o ciclo de vida dos ativos construídos [2]. Em Portugal foi desenvolvido o SECClasS (*Sustainability Enhanced Construction Classification System*) que serve a comunidade profissional nacional e se aplica a projetos nacionais e internacionais [3].
Ainda no âmbito da classificação da informação, um dos problemas transversais a todas as áreas do setor AECO em Portugal é a ausência de um consenso que defina a organização do MQT (Mapa de Quantidades e Trabalhos), isto é, a sua estrutura de base, a WBS (*Work Breakdown Structure*), tendo como consequência diversos problemas, mal-entendidos e ineficiências na interpretação e gestão da informação que este documento pretende veicular ao longo da cadeia de valor.

2. Estrutura da WBS

A *buildingSMART* Portugal propôs-se desenvolver uma WBS como base para o MQT, com a participação de especialistas do setor AECO, que envolveu toda a cadeia de valor que produz, interpreta e utiliza este documento para o desenvolvimento das suas atividades, e em paralelo, regras de medição ancoradas na metodologia *openBIM*, nomeadamente no esquema IFC. Assim, pretende-se contribuir para a transição digital, ao apontar um caminho para a integração do tradicional com um modo moderno de classificar e gerir informação da construção.
Os princípios orientadores para o desenvolvimento da WBS foram a boa gestão, a previsibilidade, os formatos abertos, a neutralidade a longevidade e a colaboração. A WBS obtida é uma estrutura de classificação de trabalhos, intuitiva na sua utilização, abrangendo todos os trabalhos de construção de Edifícios, todas as especialidades de projeto envolvidas e todos os intervenientes nas fases de conceção, projeto e obra.

2.1 Macroestrutura

O desenvolvimento da WBS, no qual participaram arquitetos e engenheiros de todas as especialidades de projeto e ainda profissionais que atuam nas áreas da fiscalização e da construção, conduziu à definição de uma macroestrutura com 26 capítulos. Esta definição, que teve por base os princípios orientadores já enumerados, pretende ser de utilização intuitiva para todo o meio técnico nacional, não ser demasiado vasta no número de capítulos de entrada e

incluir todos os conjuntos de trabalhos de construção mais relevantes para a listagem do MQT. Os 26 capítulos da macroestrutura da WBS estão apresentados na Figura 1.

01	ESTALEIRO
02	TRABALHOS PREPARATÓRIOS
03	DEMOLIÇÕES
04	MOVIMENTO DE TERRAS
05	INFRAESTRUTURAS GERAIS EXTERIORES
06	ARRANJOS EXTERIORES
07	ESTRUTURAS DE CONTENÇÃO (GEOTÉCNICA)
08	ELEMENTOS ESTRUTURAIS: BETÃO, COFRAGENS E ARMADURAS
09	ELEMENTOS ESTRUTURAIS METÁLICOS
10	ELEMENTOS ESTRUTURAIS EM MADEIRA
11	ELEMENTOS ESTRUTURAIS EM ALVENARIA E CANTARIA
12	ELEMENTOS ESTRUTURAIS EM OUTROS MATERAIS
13	ALVENARIAS NÃO ESTRUTURAIS E DIVISÓRIAS
14	CANTARIAS NÃO ESTRUTURAIS
15	CARPINTARIAS NÃO ESTRUTURAIS
16	SERRALHARIAS NÃO ESTRUTURAIS
17	ELEMENTOS DE PLÁSTICO NÃO ESTRUTURAIS
18	ISOLAMENTOS E IMPERMEABILIZAÇÕES
19	REVESTIMENTOS
20	VIDROS E ESPELHOS
21	PINTURAS
22	INSTALAÇÕES E EQUIPAMENTOS HIDRÁULICOS
23	INSTALAÇÕES E EQUIPAMENTOS MECÂNICOS
24	INSTALAÇÕES E EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS E ESPECIAIS
25	ASCENSORES E MONTA-CARGAS
26	ELEMENTOS DE EQUIPAMENTO FIXO E MÓVEL DE MERCADO

Figura 1: Macroestrutura da WBS.

A descrição de cada capítulo é autoexplicativa dos trabalhos de construção que nele devem ser incluídos. Os 26 capítulo de entrada da WBS podem ser agrupados em cinco (5) grandes grupos por tipologia de trabalhos de construção (ver diferenciação por cores na Figura 1), O primeiro grupo inclui trabalhos de natureza geral como por exemplo os trabalhos do estaleiro, das demolições ou dos arranjos exteriores. O segundo grupo inclui os trabalhos relacionados com os elementos estruturais, incluindo as contenções geotécnicas e as estruturas de diferentes materiais (e.g., betão armado, madeira ou alvenaria). O terceiro grupo inclui os trabalhos relacionados com os elementos não estruturais, como sejam as paredes, as portas, as janelas, as guardas, os corrimãos ou as vedações. O quarto grupo inclui os trabalhos relacionados com isolamentos, impermeabilizações, revestimentos, pinturas e ainda vidros e espelhos. Finalmente, o quinto grupo inclui os trabalhos relativos aos diferentes tipos de instalações e

equipamentos (e.g., hidráulicos, mecânicos ou elétricos) e ainda os ascensores e os elementos de equipamento fixo e móvel de mercado. Os trabalhos relativos a conservação e restauro devem ser incluídos nos capítulos e/ou subcapítulos onde houver intervenções dessa natureza, sendo essa referência feita na descrição ao nível do artigo.

2.2 Microestrutura

A microestrutura da WBS desenvolve-se, a partir dos capítulos, em subcapítulos sucessivos, em árvore, que podem atingir até sete (7) níveis de desagregação. A codificação da estrutura é feita com dois dígitos de numeração sequencial, para cada nível da estrutura, separados por pontos. O código assim gerado é unívoco para cada subcapítulo, isto é, quando não existem trabalhos de construção em algum subcapítulo, o respetivo código não aparece no MQT, por isso salta a numeração sequencial. Na Figura 2 é apresentado todo o Capítulo 08 - Elementos Estruturais (Betão, Cofragens e Armaduras) até ao terceiro nível, e ainda o Subcapítulo 08.02.01 - Cofragem para Betão à Vista até ao final da respetiva desagregação, que num caso atinge o nível seis (6).

08	ELEMENTOS ESTRUTURAIS: BETÃO, COFRAGENS E ARMADURAS
08.01	BETÃO EM ELEMENTOS ESTRUTURAIS
08.01.01	MOLDADO
08.01.02	PROJETADO
08.01.03	PRÉ-FABRICADO
08.02	COFRAGENS E MOLDES
08.02.01	COFRAGEM PARA BETÃO À VISTA
08.02.02	COFRAGEM PARA BETÃO NÃO À VISTA
08.02.03	MOLDES DE ALIGEIRAMENTO
08.03	ARMADURAS EM ELEMENTOS ESTRUTURAIS
08.03.01	ARMADURA ORDINÁRIA
08.03.02	ARMADURA PRÉ-ESFORÇADA
08.03.03	REDES E MALHAS ELECTROSSOLDADA
08.03.04	FIXAÇÕES E LIGAÇÕES

08.02.01	COFRAGEM PARA BETÃO À VISTA
08.02.01.01	**PLANA**
08.02.01.01.01	MUROS
08.02.01.01.01.01	DE GRAVIDADE
08.02.01.01.01.02	DE FLEXÃO
08.02.01.01.02	PILARES E MONTANTES
08.02.01.01.03	VIGAS, LINTÉIS E CINTAS
08.02.01.01.04	PAREDES
08.02.01.01.05	LAJES
08.02.01.01.06	ESCADAS
08.02.01.01.07	OUTROS ELEMENTOS

Figura 2: Microestrutura do Capítulo 08.

2.3 Desafios ultrapassados

O desenvolvimento da WBS nem sempre foi consensual, a classificação de alguns trabalhos criou dúvidas e, por vezes, diferentes especialidades classificavam os seus trabalhos com princípios distintos. A necessidade de desenvolver uma WBS única que correspondesse às expetativas de todos, fez com que se tivessem de ultrapassar alguns desafios e tomado algumas decisões mais disruptivas.

Uma destas situações prendeu-se com a necessidade de criação de um capítulo próprio para separação dos trabalhos relativos às Estruturas de Contenção Geotécnica (Capítulo 7), mas que se reserva apenas à contenção de Terra e Água, sendo que todas as outras contenções, como é o caso de contenção de fachadas, devem estar nos capítulos dos Elementos Estruturais.

No caso dos Elementos Não Estruturais, optou-se pela desagregação dos trabalhos por ofícios (e.g., Cantarias, Carpintarias, Serralharias e Elementos de Plástico), cujos capítulos incluem os Revestimentos feitos desses materiais e os Equipamentos feitos à medida também nesses

materiais. Assim, no capítulo dos Revestimentos apenas aparecem aqueles feitos com materiais não incluídos nos ofícios, como é o caso das argamassas, sendo que os trabalhos relativos a Equipamentos que não são produzidos à medida, incluídos no capítulo de Equipamento de Mercado.
Algumas das decisões mais disruptivas tomadas incluem estes casos da colocação dos revestimentos, por exemplo, de madeira no Capítulo das Carpintarias e não no Capítulo dos Revestimentos.
Na Figura 3 apresenta-se, como exemplo, a microestrutura do Capítulo 15 - Carpintarias Não Estruturais, incluindo os respetivos subcapítulos de Revestimentos e Equipamentos.

15	CARPINTARIAS NÃO ESTRUTURAIS
15.01	ELEMENTOS EM VÃOS
15.01.01	PORTAS, JANELAS E ENVIDRAÇADOS
15.01.01.01	**EXTERIORES**
15.01.01.02	**INTERIORES**
15.01.01.03	**SEGURANÇA CONTRA INTRUSÃO**
15.01.01.04	**RESISTENTES AO FOGO**
15.01.02	OUTROS ELEMENTOS
15.02	GUARDAS E CORRIMÃOS, E VEDAÇÕES
15.02.01	GUARDAS
15.02.02	CORRIMÃOS
15.02.03	VEDAÇÕES
15.03	REVESTIMENTOS
15.03.01	REVESTIMENTOS DE SUPERFÍCIE
15.03.02	RODAPÉS
15.03.03	SANCAS, FRISOS E GUARNIÇÕES
15.03.04	ESTRUTURAS LEVES OU RIPADO PARA SUPORTE OU FIXAÇÃO DE REVESTIMENTOS
15.04	EQUIPAMENTOS
15.04.01	EQUIPAMENTO FIXO
15.04.02	EQUIPAMENTO MÓVEL
15.05	DIVISÓRIAS
15.06	OUTROS ELEMENTOS

Figura 3: Microestrutura do Capítulo 15.

2.4 Conteúdos disponibilizados

A implementação prática da WBS, apesar de no geral ser bastante intuitiva, pode suscitar dúvidas relativamente à classificação de alguns trabalhos mais específicos. Assim, de forma a facilitar a utilização e interpretação da estrutura da WBS, definida pela *buildingSMART* Portugal, foi desenvolvido um Guião de apoio que esclarece a sua aplicação e promove uma adoção consistente pelos diferentes intervenientes.
Todos os conteúdos associados, incluindo a estrutura da WBS e o respetivo Guião de apoio, encontram-se disponibilizados no *site* oficial da *buildingSMART* Portugal (Figura 4), garantindo acesso fácil e centralizado a toda a documentação de referência.

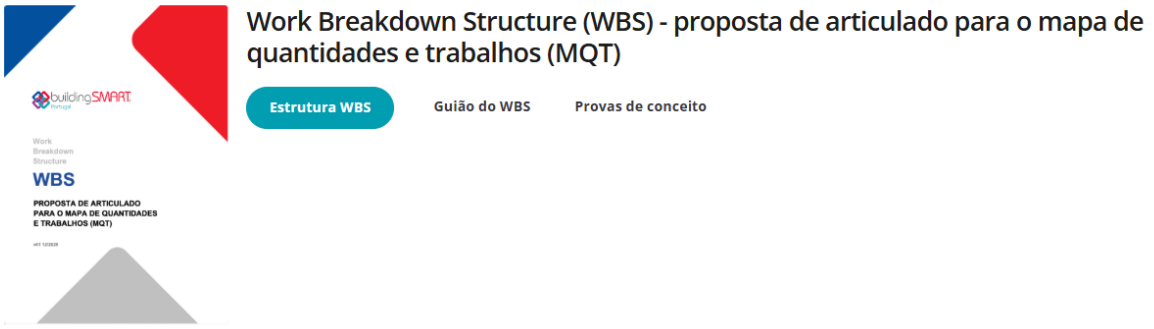


Figura 4: Acesso aos conteúdos relativos à WBS, no *site* da *buildingSMART* Portugal.

3. Prova de conceito

Para demonstrar a aplicabilidade da WBS num fluxo automatizado, desenvolveu-se uma prova de conceito (PoC) centrada na extração de quantidades a partir de um modelo IFC. Neste capítulo, é descrito de forma sucinta o trabalho desenvolvido na PoC, sendo o mesmo aprofundado com maior detalhe no artigo "Geração automática de mapas de quantidades e trabalhos a partir de IFC: Prova de Conceito baseada na WBS da *buildingSMART* Portugal" também apresentado neste congresso. Adicionalmente, alguns dos conteúdos desenvolvidos poderão ser descarregados na página de recursos da *buildingSMART* Portugal.
Como base, foi utilizado um modelo exemplo desenvolvido no âmbito do grupo de trabalho "EIR III – EIR para a etapa de construção", também associado à *buildingSMART* Portugal.
O modelo é constituído exclusivamente por elementos estruturais de betão armado, pelo que o âmbito desta PoC é deliberadamente restrito ao Capítulo 08 — Elementos Estruturais: Betão, Cofragens e Armaduras da WBS, ficando a validação em modelos com múltiplas especialidades (e.g., Arquitetura, MEP e outros) e com a complexidade típica de projetos reais identificada como trabalho futuro. Na Figura 5 apresenta-se o modelo utilizado.

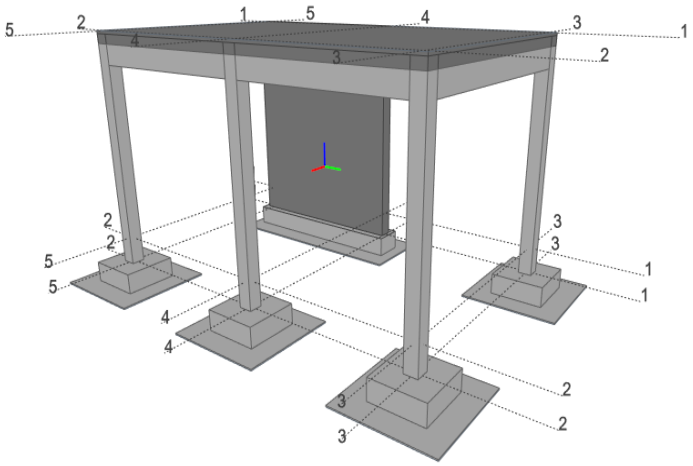


Figura 5: Representação tridimensional do modelo base utilizado na Prova de Conceito.

3.1 Mapeamento entre a WBS e o esquema IFC

O mapeamento entre a WBS e o esquema IFC (IFC4_ADD2_TC1 - 4.0.2.1) foi realizado ao nível dos subgrupos e englobou apenas os elementos contidos no modelo exemplo apresentado acima. Este mapeamento incluiu a relação entre os seus subgrupos (betão de limpeza, sapatas, pilares, paredes, vigas e lajes), as classes IFC dos elementos do modelo e as propriedades IFC que continham a quantidade a ser lida.

Enquanto que para a quantificação dos elementos de betão foram utilizadas propriedades nativas de volume e área, para as cofragens foi necessário criar propriedades específicas que distinguissem área de cofragem para betão à vista e não à vista. Da mesma forma, para as armaduras, optou-se por uma propriedade personalizada de peso em vez do rácio nativo do IFC, de modo a obter o valor final em quilogramas, conforme definido no livro Regras de Medição do LNEC e como estabelecido na WBS bSPT (ver Figura 6).

08	ELEMENTOS ESTRUTURAIS: BETÃO, COFRAGENS E ARMADURAS		
08.01	BETÃO EM ELEMENTOS ESTRUTURAIS		
08.01.01	MOLDADO		
08.01.01.03	PILARES E MONTANTES		
	IFC Class	PredefinedType	IFC Property
	IfcColumn	COLUMN	NetVolume
08.02	COFRAGEM E MOLDES		
08.02.02	COFRAGEM PARA BETÃO NÃO À VISTA		
08.02.02.01	PLANA		
08.02.02.01.03	PILARES E MONTANTES		
	IFC Class	PredefinedType	IFC Property
	IfcColumn	COLUMN	UnexposedConcreteFormworkArea_bSPT
08.03	ARMADURAS EM ELEMENTOS ESTRUTURAIS		
08.03.01	ARMADURA ORDINÁRIA		
08.03.01.05	PILARES E MONTANTES		
	IFC Class	PredefinedType	IFC Property
	IfcColumn	COLUMN	ReinforcementWeight_bSPT

Figura 6: Mapeamento entre a estrutura da WBS e as propriedades IFC aplicado a pilares.

3.2 Fluxo de trabalho para extração de quantidades

Concluído o mapeamento entre a WBS e o esquema IFC, o foco incidiu na automação da geração do Mapa de Quantidades e Trabalhos (MQT). Para o efeito, foram exploradas e comparadas duas metodologias distintas: uma solução customizada em ambiente Windows e aplicação online IFCflow.

Esta última destacou-se pela celeridade e simplicidade na extração direta de dados do modelo IFC. Contudo, revelou limitações críticas na estruturação da informação, não permitindo alcançar o detalhe e a formatação exigidos para um MQT completo.

Paralelamente, dada a necessidade de uma maior precisão na informação gerada, a solução customizada para ambiente Windows permitiu uma gestão minuciosa da WBS, adicionando descrições detalhadas de artigos à estrutura da WBS e, posteriormente, associando-as diretamente ao esquema IFC.

O fluxo de trabalho culmina na exportação de dados estruturados para formatos editáveis (Excel ou CSV), garantindo total flexibilidade no pós-processamento.

3.3 Visualização de resultados

A etapa final do trabalho consistiu em potenciar a interoperabilidade entre diferentes ecossistemas digitais, transformando o Mapa de Quantidades e Trabalhos (MQT) estático numa interface visual e dinâmica.

Ao utilizar o Power BI, foi possível agregar dados de fontes distintas, garantindo que a informação flua sem barreiras (ver Figura 7). O desenvolvimento desta solução de visualização estruturou-se em três fases:

- Gestão do modelo - O modelo IFC foi alojado na plataforma Speckle. Esta escolha foi estratégica para promover a interoperabilidade, permitindo que a geometria do modelo seja consultada via web por qualquer interveniente, sem a necessidade de software de autoria ou licenciamentos complexos.
- Interconexão de bases de dados - Através da importação do ficheiro CSV para o Power BI, estabeleceu-se a ligação entre os dados alfanuméricos e o modelo 3D. A interoperabilidade é aqui assegurada pelo GUID (Global Unique Identifier), que garante que cada linha do MQT corresponde aos respetivos elementos no modelo.
- Configuração da interface de visualização - Consolidou-se um ambiente de análise centralizado onde a tabela do MQT, o visualizador 3D e os indicadores analíticos operam de forma sincronizada. Esta filtragem cruzada permite a rastreabilidade total dos dados: ao selecionar um artigo no MQT, o modelo isola automaticamente os elementos correspondentes, permitindo uma validação visual das quantidades extraídas.

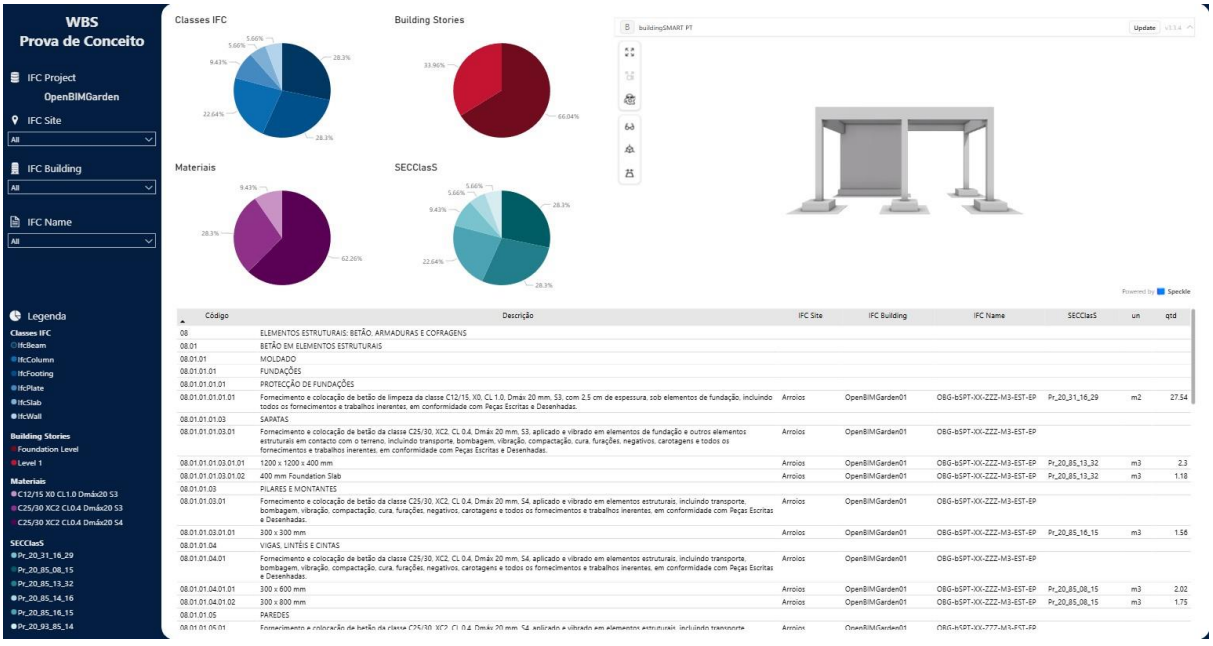


Figura 7: Interface da interface de visualização criada em *Power BI.*

4. Considerações finais

A *buildingSMART* Portugal desenvolveu uma WBS como base para o MQT, com a participação de profissionais de todo o setor AECO, que se pretende contribua para uma uniformização deste documento no meio técnico nacional. Em conjunto com a WBS (articulada com o IFC através do mapeamento descrito), está publicado no site da *buildingSMART* Portugal um Guião que ajuda na sua implementação prática da WBS.
A prova de conceito apresentada demonstra a viabilidade do fluxo proposto, mas o seu âmbito é limitado. Foi exercitada num modelo específico, não cobrindo ainda projetos com múltiplas especialidades nem a complexidade típica de obras reais; a quantificação do esforço de preparação do modelo e do tempo economizado face a métodos manuais não foi ainda realizada; e a usabilidade da WBS por projetistas em contexto real carece de avaliação sistemática.
No plano nacional, a WBS e o SECClasS endereçam níveis distintos do problema da classificação, pelo que se perspetiva a sua coexistência e articulação.
Os próximos desenvolvimentos incluem:

- Completar o mapeamento dos restantes capítulos para IFC e SECClasS em coordenação com o grupo EIR;
- Integrar disciplinas em falta na WBS, como por exemplo: Arqueologia, Arquitetura Paisagista, Segurança e Saúde;
- Expandir a prova de conceito de forma a validar a WBS em modelos de arquitetura e outras especialidades de engenharia;
- Recolher *feedback* de implementação por parte da indústria, quantificar ganhos de tempo face ao processo manual e reunir casos de estudo;
- Organização de *Workshops* de aplicação prática da WBS;
- Desenvolvimento de projetos-piloto e partilha de resultados.

Referências

[1] P. Couto, M. J. Falcão Silva, F. Salvado, "Sistemas de Classificação de Informação na Construção: Contribuição para a definição de um sistema de classificação para Portugal" em *LNEC - Proc. 0805/112/20119. Relatório 268/2019 - DED/NEG*. Lisboa, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, julho de 2019.

[2] P. Couto, M. J. Falcão Silva, F. Pinho, "Contributo para um CICS Nacional: Tabelas de Produtos, de Propriedades, de Formas de Informação, de Gestão e Direção de Projeto e de Elementos" em *ptBIM 2020 - 3.º Congresso Português de Building Information Modelling*. Porto, FEUP, 26 e 27 de novembro e 4 de dezembro de 2020. DOI: 10.24840/978-972-752-272-9_0877-0887.

[3] A. Mendez, D. Cale, F. Salvado, I. Almeida, J. Miranda, J. Granja, L. Fonseca, M. Mello, M. J. Falcão Silva, M. Campos, M. Azenha, M. Sibaii, P. Couto, R. Resende, R. Lima, S. Parece, T. Pedro, "Projeto SECClasS - O Desenvolvimento de um Sistema de Classificação da Construção com Componente de Sustentabilidade Adaptado ao BIM" em *ptBIM 2022 - 4.º Congresso Português de Building Information Modelling*. Braga, UM, 4 a 6 de maio de 2022.

12345

APRESENTANDO O ESQUEMA LOINxml: DISCUTINDO DECISÕES DE DESIGN E APLICAÇÃO PRETENDIDA

Martina Mellenthin Filardo, Paul Debus, Sven Zentgraf, Štefan Jaud, Christian Clemen, Ghang Lee, Jakob Beetz, André Borrmann

ptBIM

APRESENTANDO O ESQUEMA LOINxml: DISCUTINDO DECISÕES DE DESIGN E APLICAÇÃO PRETENDIDA

Martina Mellenthin Filardo[(1)], Paul Debus[(2)], Sven Zentgraf[(3)], Štefan Jaud[(4)], Christian Clemen[(5)], Ghang Lee[(6)], Jakob Beetz[(7)], André Borrmann[(8)]

(1) Chair Construction Engineering and Management, Bauhaus-Universität Weimar, Weimar, 0000-0001-7759-7579
(2) Computer Vision in Engineering Bauhaus-Universität Weimar, Weimar, 0000-0001-6228-588X
(3) Chair of Computing in Engineering, Ruhr-Universität Bochum, Bochum, 0000-0001-6058-7614
(4) Chair of Computing in Civil and Building Engineering, Technical University of Munich, Munich, 0000-0003-0387-3440
(5) Faculty of Spatial Information, University of Applied Sciences Dresden, Dresden, 0000-0002-5807-7698
(6) Department of Architecture and Architectural Engineering, Yonsei University, Seul, 0000-0002-3522-2733
(7) Design Computation, RWTH Aachen University, Aachen, 0000-0002-9975-9206
(8) Chair of Computing in Civil and Building Engineering, Technical University of Munich, Munich, 0000-0003-2088-7254

Resumo
O Level of Information Need introduzido na ISO 19650 ganhou um modelo de dados padronizado legível por máquina com o LOINxml (ISO 7817-3). Este artigo apresenta o contexto normativo desta norma com um breve resumo do processo de especificação do modelo de dados LOINxml. Através da análise sistemática dos elementos do esquema e das decisões de design, este trabalho demonstra como o LOINxml permite especificações de requisitos estruturadas e baseadas em transações, suportando informações alfanuméricas, documentais e geométricas ao longo dos ciclos de vida dos projetos. A contribuição estabelece o LOINxml como infraestrutura fundamental para os requisitos de informação digital, identificando simultaneamente as condições limiares e as direções de investigação futuras essenciais para a implementação na indústria.

1. Introdução

Requisitos de informação precisos são fundamentais para a entrega de informações seguindo o método Building Information Modeling (BIM) e resultados de projetos em conformidade na indústria de arquitetura, engenharia, construção e operação (AECO) [1]. A representação legível por máquina desses requisitos permite não apenas uma definição independente do

fornecedor, mas também requisitos mais precisos e maior qualidade dos resultados do projeto. Uma estrutura para essa definição de requisitos foi estabelecida nas normas de Level of Information Need (LOIN). Embora os fundamentos tenham sido especificados na parte 1 da ISO 7817 [2], as diretrizes de aplicação são apresentadas na parte 2 (ISO/TS 7817-2:2026) [3] e um modelo de dados correspondente é definido na parte 3 (ISO 7817-3:2026) [4]. Destas três normas inter-relacionadas, este artigo discute as decisões de design e as aplicações pretendidas do esquema LOINxml da ISO 7817-3.

Este artigo documenta o contexto e as decisões de design do modelo de dados apresentado na ISO 7817-3 para promover a adoção por profissionais. O contexto em que o modelo de dados está incorporado é explicado no cenário normativo. Posteriormente, o processo de desenvolvimento é explicado. O modelo de dados publicado na ISO 7817-3 é então apresentado e discutido. O artigo termina com as conclusões e perspectivas.

2. Definição normativa

O conceito de Level of Information Need (LOIN) para um nível de necessidade de informação foi introduzido na norma ISO 19650-1 [5]. No entanto, o conceito teve de ser elaborado em especificações normativas precisas, o que foi feito na série ISO 7817, onde os fundamentos e princípios são descritos na ISO 7817-1 (2024), as diretrizes e a aplicação na ISO/TS 7817-2 (2026) e um modelo de dados baseado em XML na ISO 7817-3 (2026). A ISO 7817-3, que especifica um esquema para o Level of Information Need, está em estreita conformidade com a ISO 23387 (2025) [6], que estabelece uma estrutura de modelo de dados para objetos de construção com base na metodologia para descrever, criar e manter propriedades em dicionários de dados interligados (ISO 23386, 2020) [7] ce onforme a norma ISO 12006-3 [8]. Esta abordagem fornece os conceitos e relações necessários para descrever informações sobre objetos de construção [6].

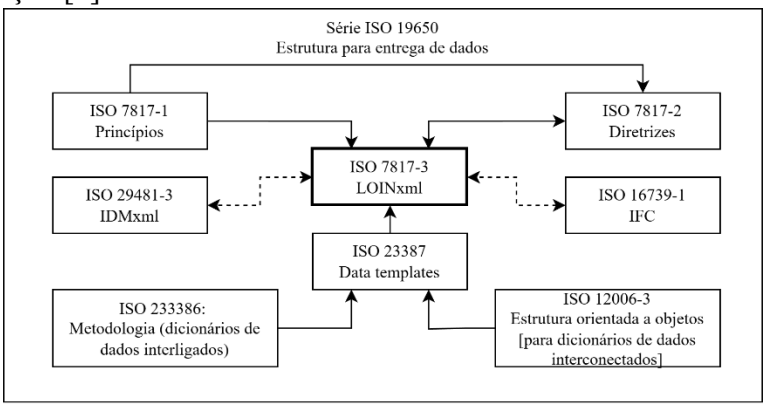


Figura 1: Contexto normativo da ISO 7817-3

Neste contexto, um modelo de dados é um subconjunto do modelo extendido pela ISO 23387 que amplia a metodologia ISO 23386, enfatizando a reutilização de modelos, e ambas as normas estão em harmonia com a ISO 12006-3 (2023), permitindo assim uma abordagem orientada a objetos – um forte argumento para a adoção dos elementos dos modelos de dados no modelo de dados LOINxml. Esta abordagem foi implementada através da importação de elementos de

esquema XML fornecidos pela ISO 23387 para o esquema LOINxml, o que representa a forma mais forte de integração.
A ISO 7817-3 coexiste com a ISO 29481-3 (2022) [9] referindo ao Information Delivery Manual (IDM). Embora ambas as normas forneçam estruturas XML legíveis por máquina para requisitos de informação, o IDM concentra-se nos requisitos de informação trocados em casos de uso específicos, enquanto o LOIN se concentra no modelo de dados para o nível de necessidade de informação. Embora seja agnóstico em relação a modelos de dados específicos para conteúdos de modelos reais, o LOINxml é compatível com as Industry Foundation Classes (IFC), entre outros formatos e estruturas de decomposição.
Um princípio forte implementado pelo LOINxml é o uso de referências a informações fornecidas em outros esquemas de dados e recursos. Isso pode incluir referências a dicionários de dados, como buildingSMART Data Dictionary (bSDD), para especificar ObjectTypes e Properties, ou referências a dados IDMxml para referenciar marcos do projeto. As referências são expressas por Identificadores Internacionais de Recursos (IRI) para permitir fácil pesquisa e recuperação, ao mesmo tempo que proporcionam o máximo de flexibilidade. O contexto das normas ISO relevantes para o modelo de dados LOINxml está descrito na Figura 1.
O esquema de dados LOINxml pode ser usado para troca baseada em ficheiros (incluindo vários ficheiros que se referenciam entre si), mas também pode atuar como um modelo para definir esquemas de bases de dados e fornecer acesso através de REST APIs.

3. Metodologia

O desenvolvimento do esquema para a ISO 7817-3 foi realizado no âmbito do trabalho de normalização (Acordo de Viena, 1991) para a cooperação entre o Comité Europeu de Normalização (CEN) e a Organização Internacional de Normalização (ISO) [10]. Especialistas delegados de todos os países interessados participam no desenvolvimento da norma.
No caso da ISO 7817-3, os especialistas vieram da Bélgica, Canadá, República Checa, França, Alemanha, Noruega, Coreia do Sul e Reino Unido. As reuniões foram realizadas virtualmente. Ao longo de seis anos de trabalho de desenvolvimento, a frequência das reuniões variou entre quinzenal e aproximadamente mensal (contabilizando pausas e feriados). A Figura 2 descreve o processo.
Outros trabalhos ajudaram no desenvolvimento desta norma, tais como [11-19], entre outros.

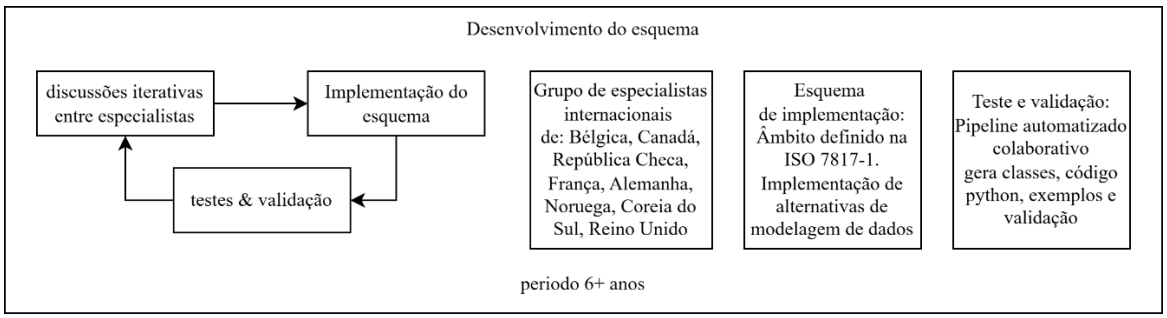


Figura 2: Visão geral do procedimento de desenvolvimento do esquema

O âmbito do esquema deriva da norma ISO 7817-1. As diretrizes da ISO/TS 7817-2, desenvolvidas em paralelo à ISO 7817-3, informaram as elaborações da LOIN posteriormente discutidas, testadas e, por fim, incorporadas à LOINxml. A congruência substantiva entre a ISO

23387 e a ISO 7817-3 exigiu a implementação de um mecanismo paralelo. A colaboração por meio da integração evitou a duplicação de trabalho e abordagens contraditórias. Elementos e mecanismos individuais foram discutidos iterativamente entre especialistas.
O material de discussão alternou entre diagramas UML, ficheiros XSD e exemplos XML usando um repositório colaborativo. Ações automatizadas geraram classes a partir de ficheiros XSD usando bibliotecas xsData. Scripts Python produziram e validaram exemplos XML em relação ao esquema.
A geração de XSD e exemplos prosseguiu de forma colaborativa através de melhorias propostas por especialistas em várias iterações. Tanto os ficheiros XSD como os XML foram submetidos a revisão por especialistas. Os rascunhos circularam por comissões internas designadas até que a norma entrou na sua fase final.

4. Apresentando o LOINxml

O elemento raiz do modelo de dados LOINxml é o elemento *LevelOfInformationNeed*, que atua como um contêiner para o(s) elemento(s) *Specification*, conforme mostrado na Figura 3. O *Specification* agrega os elementos *Prerequisites* (obrigatório), para informações de contexto, *GeoReferencing* (opcional), para informações do sistema de coordenadas, e *SpecificationPerObjectType* (opcional, zero a muitos), para especificar requisitos.

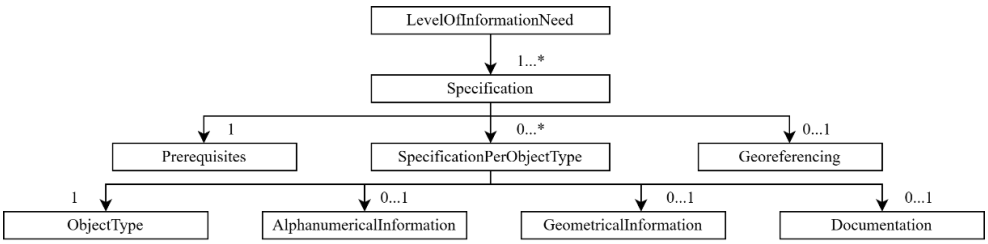


Figura 3: Visão geral simplificada do modelo de dados LOINxml. Uma versão detalhada do esquema pode ser encontrada na norma ISO 7817-3.

O elemento *Prerequisites* (Figura 4, esquerda) estabelece a estrutura da transação, especificando a finalidade, o marco de entrega da informação e os intervenientes do LOINxml. O LOINxml é entendido como uma transação limitada a um interveniente recetor e a um interveniente fornecedor.
O elemento *Purpose* fornece a justificação para a necessidade de informação e inclui nome, definição opcional, referências, descrição, idioma, região e links para dicionários.
O *InformationDeliveryMilestone* (marco de entrega de informações) especifica o prazo de entrega por meio de nome, descrição opcional, referências e data/hora. O Ator Fornecedor (*ProvidingActor*) identifica o fornecedor de informações por meio de função, nome opcional, afiliação, descrição e e-mail. O Ator Receptor (*ReceivingActor*) identifica o destinatário das informações usando a mesma estrutura do Ator Fornecedor. Atores ou finalidades variados exigem instâncias de especificação separadas, em vez de pré-requisitos consolidados. Várias especificações com pré-requisitos diferentes podem coexistir em um único documento.

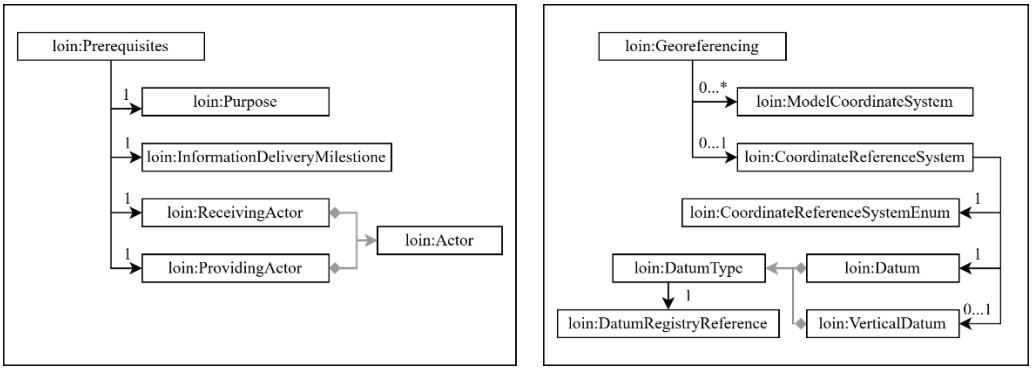


Figura 4: Estrutura dos elementos *Prerequisites* (esquerda) e *GeoReferencing* (direita)

O elemento *GeoReferencing* (Figura 4 direita) especifica o sistema de referência de coordenadas e os parâmetros de transformação do modelo. Compreende os elementos *CoordinateReferenceSystem*, que define o tipo e o datum do CRS, e *ModelCoordinateSystem*, que estabelece a origem e orientação do modelo dentro do CRS, onde várias instâncias são possíveis.

O *CoordinateReferenceSystem* define o sistema através do Type (*ProjectedCRS, EngineeringCRS, GeographicCRS* ou *NotRequired*), do *Datum* horizontal necessário, e do *VerticalDatum* opcional. Cada datum inclui um nome (exemplos «EPSG:25832» ou string WKT2) e um *Type* como *DatumRegistryReference*, permitindo especificação flexível do registo geodésico conforme ISO 19127:2019 através do nome, descrição opcional e *RegistryReference* opcional fornecido via URI.

O *ModelCoordinateSystem* define o posicionamento do modelo usando nomes de coordenadas genéricos. *IsProjected* indica se o modelo herda a distorção da projeção do CRS. *FirstCoordinate* especifica a primeira coordenada horizontal (Easting ou Latitude), *SecondCoordinate* a segunda (Northing ou Longitude), e *Height* a coordenada vertical. *XAxisAbscissa* e *XAxisOrdinate* fornecem componentes opcionais da direção do eixo X. *UnitScale* oferece conversão opcional de unidades modelo-CRS. *HorizontalScale* fornece fator de escala de distância horizontal opcional.

Para evitar "reinventar a roda", o esquema LOINxml usa vários elementos do esquema de modelos de dados (namespace *dt*) definido na ISO 23387, em particular quando se trata da definição de propriedades, tipos de dados e unidades.

O esquema emprega Identificadores Globais Únicos (GUIDs) e *ReferenceType* para referência de elementos dentro de documentos e entre recursos externos.

Os GUIDs fornecem identificação única de elementos, servindo a dois propósitos: estabelecer a identidade do elemento e permitir referências cruzadas internas. A maioria dos elementos suporta o atributo *dt:GUID* para referência no mesmo documento.

O *dt:ReferenceType* cria referências por meio de dois atributos. O atributo *dt:GUID* faz referência a elementos dentro do mesmo documento. O atributo *dt:referenceURI* faz referência a recursos externos. Quando ambos os atributos estão presentes, a referência aponta para um elemento específico identificado pelo GUID dentro de um recurso externo identificado pelo URI. As diretrizes de referência recomendam o uso do *dt:GUID* sozinho para referências no mesmo arquivo, do *dt:referenceURI* sozinho para recursos externos e de ambos os atributos para elementos específicos dentro de recursos externos.

O elemento *SpecificationPerObjectType* (Figura 5) define os requisitos de informação para tipos de objetos específicos, tais como paredes, portas ou pilares de pontes, vinculando as definições de objetos a três aspetos de requisitos: informação alfanumérica, documentação e informação geométrica. Cada especificação pode conter vários elementos *SpecificationPerObjectType*, com um por tipo de objeto entregável. A estrutura compreende *ObjectType*, que define o tipo de objeto de destino como um elemento obrigatório, *AlphanumericalInformation*, que especifica as propriedades obrigatórias, quantidades como opcionais, *Documentation*, que define os documentos obrigatórios como opcionais, e *GeometricalInformation*, que especifica os requisitos geométricos como opcionais.
Como o elemento *loin:SpecificationPerObjectType* estende o *dt:ConceptType* da ISO 23387, inclui elementos *Name* e *Definition* separados do *ObjectType* ao qual se refere.
O elemento *ObjectType* identifica os alvos dos requisitos usando *dt:ObjectTypeType* da ISO 23387. Cada tipo de objeto requer um *dt:GUID* para referência interna. Existem duas abordagens principais de definição: definição inline com nome, definição e metadados, ou referência externa via *dt:ReferenceDocumentRef* ligando a bibliotecas ou outros recursos externos. Várias variantes de idioma suportam projetos internacionais, conforme especificado na ISO 23387. O rastreamento de versão ocorre por meio de *dt:MajorVersion*, *dt:MinorVersion* e *dt:Status*, conforme definido na ISO 23387. As referências externas permitem a ligação a classificações estabelecidas, como IFC ou UniClass, mantendo GUIDs internos e metadados locais opcionais.

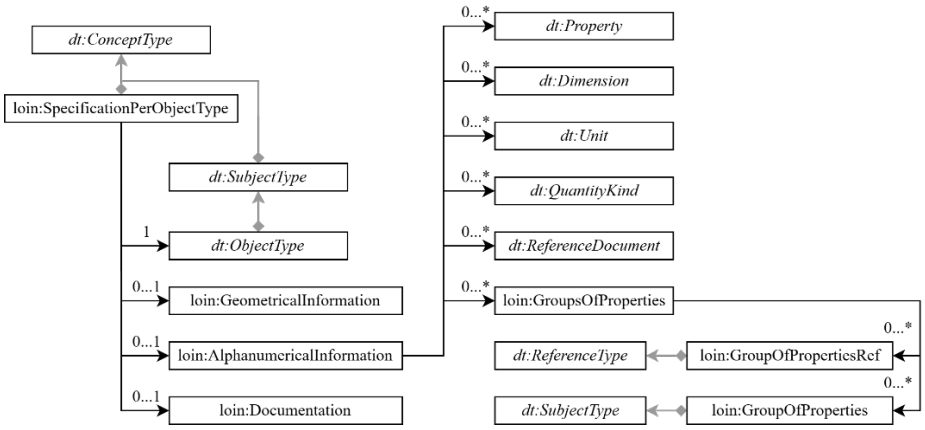


Figura 5: Estrutura do elemento *SpecificationPerObjectType* e foco no subelemento *AlphanumericalInformation*

O *dt:ObjectType* é um filho do elemento *dt:SubjectType*, abrangendo assim todos os metadados do elemento *dt:ConceptType* e permitindo referências definidas no tipo de assunto (referência para «*hasParts*» e «*isSubtypeOf*»). Ao agregar informações específicas e associá-las a um tipo de objeto específico, a especificação por contêiner de tipo de objeto atua como uma relação «*has*» inerente (XML não suporta relações nesse sentido).
O elemento *AlphanumericalInformation* especifica as propriedades necessárias através de vários componentes. A sua estrutura também é apresentada na Figura 5.
Property define requisitos de propriedade individuais, seja em linha ou referenciados, com tipos de dados, restrições e referências de medição. *QuantityKind* fornece definições de tipo de quantidade, como comprimento, massa ou pressão para propriedades em linha ou referenciando *Dimension*. *Dimension* expressa a dimensionalidade física (ou seja, $L^1M^0T^0$) como expoentes

de unidades básicas do SI, suportando unidades em linha e tipos de quantidade. *Unit* especifica unidades de medida com informações de conversão, incluindo escala, base, coeficiente e desvio. *DataType* especificando restrições. Definições externas via *dt:referenceURI* em elementos de referência podem apontar para padrões como a ontologia Quantity, Unit, Dimension and Type (QUDT) [20]. *GroupsOfProperties* contém coleções de propriedades relacionadas através de elementos *GroupOfProperties* ou *GroupOfPropertiesRef* externos. *ReferenceDocument* fornece links opcionais para dicionários ou normas externos.

O elemento *GeometricalInformation* define requisitos geométricos através de cinco aspetos, conforme mostrado na Figura 6 (esquerda). A Figura 6 à direita mostra a árvore de decisão simplificada mostrando a composição da forma (*ShapeAssembly*).
O aspeto *Dimensionality* descreve a representação dimensional como 0D, 1D, 2D, 3D ou não necessário (*NotRequired*) de acordo com a norma ISO/TS 7817-2.
O aspeto *Appearance* especifica os requisitos de aparência visual de acordo com a norma ISO/TS 7817-2. O aspeto *ParametricBehaviour* define a especificação do comportamento paramétrico de acordo com a norma ISO/TS 7817-2.

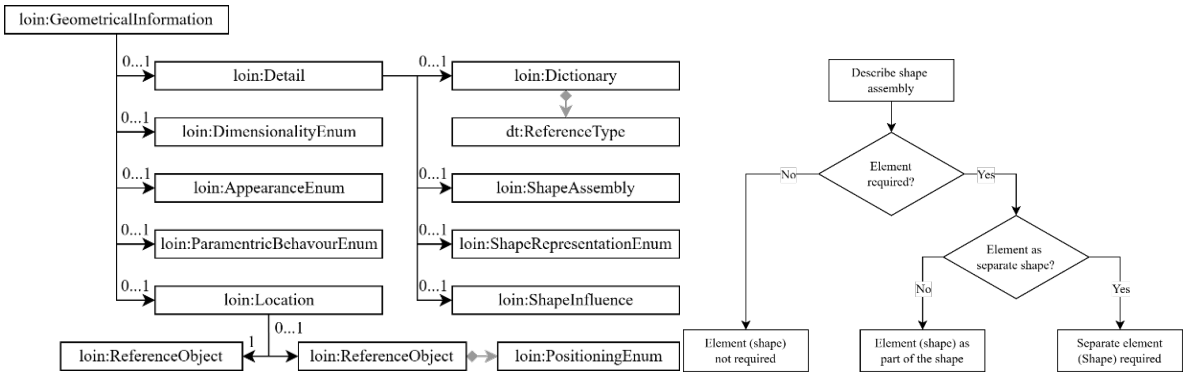


Figura 6 (esquerda): Estrutura do elemento *GeometricalInformation* e à direita: árvore de decisão simplificada mostrando a *ShapeAssembly*

O aspeto *Location* estabelece o método de posicionamento como absoluto, relativo ou não definido, de acordo com a norma ISO/TS 7817-2, em que relativo ou absoluto especifica o método de posicionamento conforme necessário e Objeto de referência fornece a referência para o posicionamento relativo através de GUID, filtro, caminho XML ou linguagem natural como opcional.
O atributo *Placeholder* indica geometria apenas de espaço reservado. *ShapeInfluence*, como parte do aspeto *Detail,* especifica a representação da característica geométrica com valores enumerados de acordo com as árvores de decisão apresentadas na ISO/TS 7817-2. Uma versão simplificada da lógica da árvore de decisão é descrita na Figura 6 (direita). As enumerações resultantes (*NotRequired, No[Element], [Element]AsPartOfShape* ou *SeparateShapes)* e *ThresholdDimension* opcional para limites de tamanho. Além do elemento ShapeInfluence, o aspeto *Detail* ainda é composto por um *Dictionary* (possível referência externa), *ShapeAssembly* e *ShapeRepresentationEnum*. Esses elementos são amplamente discutidos em ISO/TS 7817-2.
O elemento *Documentation* especifica os documentos necessários através de um ou mais elementos *Document*. Cada documento define o nome como identificador do documento, a

descrição que especifica o conteúdo como opcional, o *ReferenceDocument* que fornece referências de especificações externas como opcionais, o formato que estabelece o formato de ficheiro necessário com nome e versão, e atributos de classificação opcionais, incluindo tipo, forma e conteúdo.

5. Discussão sobre decisões de design

O modelo de dados LOINxml priorizou a reutilização de princípios estabelecidos e o respeito pelas estruturas existentes, mantendo-se agnóstico quanto à estrutura de decomposição. Embora o IFC seja amplamente estabelecido na indústria AECO, nem todos os requisitos podem ser definidos dentro do seu esquema devido ao conhecimento limitado dos atores receptores ou à natureza dos requisitos. A ISO 7817-3 (2026) permite qualquer estrutura de decomposição e suporta múltiplas estruturas simultaneamente, permitindo requisitos que abrangem várias disciplinas. O objetivo principal foi permitir a definição de requisitos conforme os atores receptores considerassem necessário, sendo a tradução para IFC ou outros formatos uma etapa subsequente. As especificações LOIN exigem elementos pré-requisitos, enquanto a georreferência e a especificação por tipo de objeto permanecem opcionais. O modelo baseado em transações restringe as especificações a um ator receptor e um ator fornecedor, equilibrando requisitos claramente definidos com uma definição possível de implementar.

A estrutura *GeoReferencing* separa a definição do CRS do posicionamento do modelo através de elementos distintos *CoordinateReferenceSystem* e *ModelCoordinateSystem*, suportando cenários onde diferentes componentes usam diferentes origens ou orientações locais dentro de um quadro de referência global partilhado. O uso de nomes genéricos (*FirstCoordinate, SecondCoordinate, Height*) permite acomodar sistemas de coordenadas projetadas, geográficas e de engenharia uniformemente. O parâmetro *IsProjected* aborda a distinção entre modelos que herdam a distorção da projeção CRS e aqueles que mantêm geometria fiel à realidade. Os parâmetros de transformação opcionais oferecem flexibilidade mas aumentam a complexidade da especificação.

A integração de recursos multilingues através do *dt:ConceptType* da ISO 23387 permite que as especificações funcionem além das fronteiras linguísticas. A inclusão de metadados de versão (*MajorVersion, MinorVersion, Status*) no nível do tipo de objeto permite o acompanhamento da evolução da definição, apoiando a gestão de alterações. O esquema não impõe restrições de versão nem define regras de compatibilidade, deixando os protocolos de gestão de versão para as convenções de implementação.

A distinção entre *ObjectType* e *SpecificationPerObjectType* implementa uma separação onde a identidade do objeto permanece independente da especificação dos requisitos. Esta arquitetura permite que o mesmo tipo de objeto apareça em várias especificações com requisitos variados, mantendo identidade consistente através de GUIDs, e suporta o controlo de versão sem alterar as definições de tipo de objeto.

O esquema acomoda definições inline e referências externas, refletindo a tensão entre especificações autónomas e gestão distribuída de definições. As definições inline criam documentos autónomos mas introduzem redundância; a referência externa reduz redundância mas cria dependências. Esta flexibilidade acomoda diferentes capacidades organizacionais, colocando a responsabilidade pela gestão da consistência nos autores das especificações.

A decomposição dos requisitos em aspetos alfanuméricos, documentais e geométricos reflete paradigmas estabelecidos de modelagem de informação. A natureza opcional dos três aspetos reconhece que nem todas as especificações requerem todos os tipos de informação.

A aplicação universal de GUIDs estabelece um mecanismo de referência estável, independente de nomes ou posições. A distinção entre *dt:GUID* para referências internas e *dt:referenceURI* para referências externas implementa uma estratégia de resolução em duas camadas.
A estrutura de requisitos geométricos de cinco aspetos (Detalhe, Dimensionalidade, Aparência, Comportamento Paramétrico, Localização) alinha-se com as diretrizes ISO/TS 7817-2. Esta decomposição trata as informações geométricas como multidimensionais, reconhecendo que diferentes fases do projeto podem exigir características geométricas diferentes. A dependência de valores enumerados restringe a expressividade a opções predefinidas.

6. Conclusões

O esquema representa um avanço significativo na formalização das especificações de requisitos de informação em diferentes dimensões de detalhe dentro da indústria AEC, fornecendo mecanismos técnicos para a definição precisa e legível por máquina dos requisitos. A utilidade do esquema não depende principalmente dos seus méritos técnicos, mas do desenvolvimento do ecossistema, incluindo suporte a ferramentas de software, disponibilidade de recursos de referência, capacitação de profissionais e estabelecimento de uma estrutura de governança. Esses elementos do ecossistema permanecem subdesenvolvidos, sugerindo que a adoção a curto prazo será limitada a organizações avançadas e projetos-piloto, em vez de alcançar uma ampla penetração na indústria. O esquema fornece a infraestrutura técnica necessária para a entrega de informações digitais, mas se mostra insuficiente sem os sistemas sociais e técnicos circundantes.
O sucesso futuro depende do reconhecimento da implementação do esquema como um desafio sociotécnico que requer o desenvolvimento coordenado de capacidades técnicas, organizacionais e humanas, em vez de ser puramente um problema de adoção de padrões.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer à ISO, ao CEN e aos organismos nacionais de normalização e colaboradores pelo apoio prestado ao longo do desenvolvimento das normas mencionadas, especialmente ao CENT/TC 442/WG 2 e ao JWG ISO/TC 59/SC 13.

Referências

[1] R. Sacks, G. Lee, L. Burdi, and M. Bolpagni, *BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, designers, engineers, contractors, and facility managers*. Hoboken, New Jersey, 4 edition, 2025.
[2] ISO 7817-1, “Building information modelling—Level of information need: Part 1: Concepts and principles,” International Organization for Standardization (ISO), 2025.
[3] ISO/TS 7817-2, “Building information modelling—Level of information need: Part 2: Guidelines for Application,” International Organization for Standardization (ISO), 2026.
[4] ISO 7817-3, “Building information modelling—Level of information need: Part 3: Data model and schema. International Organization for Standardization (ISO), 2026.
[5] ISO 19650-1, “Organization of information about construction works - Information management using building information modelling. Part 1: Concepts and principles,” International Organization for Standardization (ISO), 2018..
[6] ISO 23387, “Building information modelling (BIM) — Data templates for construction objects used in the life cycle of built assets: Concepts and principles,” International Organization for Standardization (ISO), 2025.

[7] ISO 23386, "Building information modelling and other digital processes used in construction: Methodology to describe, author and maintain properties in interconnected data dictionaries," International Organization for Standardization, (ISO), 2020.
[8] ISO 12006-3, "Building construction — Organization of information about construction works: Part 3: Framework for object-oriented information," International Organization for Standardization (ISO), 2023.
[9] ISO 29481-3, "Building information models — Information delivery manual: Part 3: Data schema," International Organization for Standardization (ISO), 2022.
[10] European Committee for Standardization and International Organization for Standardization (2016). Guidelines for the implementation of the Agreement on Technical Cooperation between ISO and CEN. ISO/CEN, 7 edition.
[11] K. Jeon, G. Lee, S. Kang, H. Roh, J. Jung, K. Lee and M. Baldwin "A relational framework for smart information delivery manual (IDM) specifications," Advanced Engineering Informatics, vol. 49, p. 101319, 2021.
[12] Š. Jaud, L. J. Gregory, and A. Borrmann, "Georeferencing. T. H. Kolbe, R. Bill, A. Donaubauer (eds), Geoinformationssysteme 2021: Beiträge zur 8. Münchener GI-Runde, Runder Tisch GIS e.V., Munich, Germany, 49-50, 2021.
[13] M. Bolpagni, F. Bosché, A. de Boissieu, A. Akbarieh, C. Shaw, P. Mêda, R. Puust, M. Medineckiene, V. Popov, and R. Sacks, "An explorative analysis of European standards on building information modelling," Proceedings of the 2022 European Conference on Computing in Construction, volume 3 of Computing in Construction, 2022.
[14] J. Abualdenien and A. Borrmann, "Levels of detail, development, definition, and information need: a critical literature review," Journal of Information Technology in Construction, 27:363–392, 2022.
[15] S. Son, G. Lee, J. Jung, J. Kim, and K. Jeon, "Automated generation of a model view definition from an information delivery manual using idmXSD and buildingSMART data dictionary," Advanced Engineering Informatics, 54:101731, 2022.
[16] M. Mellenthin Filardo, L. Liu, P. Hagedorn, S. Zentgraf, J. Melzner, and M. König, "A standard-based ontology network for information requirements in digital construction projects," *Proceedings of the 12th Linked Data in Architecture and Construction Workshop (LDAC 2024),* June 13-14, 2024, Bochum, Germany, 2024.
[17] M. Mellenthin Filardo, P. Debus, J. Melzner, and H.-J. Bargstädt, "Enhancing Information Requirement Compliance Through Automated Integration in a Modelling Environment," Proceedings of the 31st International Workshop on Intelligent Computing in Engineering (EG-ICE), Vigo, Spain, 2024.
[18] E. Akbas, M. Bolpagni, A. Borrmann, S. Boeykens, M. Mellenthin Filardo, L. Liu, and J. Beetz, "A holistic approach to information requirements: Integration of level of information need and information delivery specification," *Journal of Information Technology in Construction*, 30:731–744, 2025.
[19] S. Zentgraf, M. Mellenthin Filardo, L. Liu, P. Hagedorn, J. Melzner, and M. König, "Update of the standard-based ontology network for information requirements in digital construction projects," *LDAC 2025: 13th Linked Data in Architecture and Construction Workshop*, July 09-11, 2025, Porto, Portugal, 2025.
[20] R. Hodgson, "Quantities, Units, Dimensions and Types (QUDT) Schema - Version 2.1.35", 2024. last accessed: 14.01.2026.

12345

4

Industrialização da Construção

ptBIM

12345

INTEROPERABILITY BETWEEN BIM AND ROBOTIC FABRICATION PROCESSES: A CASE STUDY APPLIED TO GENERATIVE FACADE DESIGN

Adriano Franchini, Bruno Figueiredo, Filipe Brandão, João Carvalho, Pedro Andrade

ptBIM

INTEROPERABILITY BETWEEN BIM AND ROBOTIC FABRICATION PROCESSES: A CASE STUDY APPLIED TO GENERATIVE FACADE DESIGN

Adriano Franchini[(1)], Bruno Figueiredo [(2)], Filipe Brandão [(3)], João Carvalho [(4)], Pedro Andrade [(5)]

(1) Escola de Engenharia, Universidade do Minho, Guimarães, 0009-0009-4399-7975
(2) Escola de Arquitetura, Arte e Design, Universidade do Minho, Guimarães, 0000-0001-8439-7065
(3) Escola de Arquitetura, Arte e Design, Universidade do Minho, Guimarães, 0000-0002-3378-0176
(4) Escola de Arquitetura, Arte e Design, Universidade do Minho, Guimarães, 0000-0002-5650-1221
(5) Grupo Cascais, Gestor de inovação, Braga, 0000-0001-6953-7082

Abstract
This paper investigates the interoperability between Building Information Modelling (BIM) environments and robotic fabrication (RF) workflows applied to generative 3D concrete printing. The study proposes a framework that starts with parametric modelling defined in a BIM environment, incorporates parametric code to structure and export metadata, and translates this information into robot code for extrusion-based fabrication. The workflow integrates geometry, dimensional parameters (height and width), volumetric data, and IFC metadata, automatically organizing and exporting them to ensure consistency between the digital model and the physical prototype. Two BIM-based export strategies were developed and compared through IFC, highlighting differences in geometric fidelity and data representation. The results indicate that, although BIM platforms present limitations in handling complex geometry, they remain effective for managing fabrication-related parameters.
A scaled prototype was produced to validate the full process. The transition from full-scale geometry to a reduced-scale prototype required only minor adjustments to the base geometry, confirming the robustness of the workflow. Issues observed during fabrication were mainly related to extrusion speed, material plasticity, and design choices, rather than to interoperability. Overall, the study demonstrates that BIM workflows can be successfully integrated with RF when geometric complexity and metadata interoperability are properly managed.

1. Introduction

In recent years, the Architecture, Engineering, and Construction (AEC) industry has faced increasing challenges related to efficiency, automation, and the management of complex

information across different project phases. Building Information Modelling (BIM) has been adopted as a central methodology to organize geometric and non-geometric data and to improve coordination between stakeholders. Since the early concept of using computers as a data-based alternative to traditional drawings [1], BIM has evolved into a key environment for design, documentation, and information exchange.

At the same time, advances in digital fabrication and robotic manufacturing have opened new possibilities for automated construction processes. RF, and more specifically 3D concrete printing (3DCP), enables the production of customized components and non-standard geometries that are difficult to achieve with conventional construction methods, while also allowing improvements in productivity and reductions in material consumption [2].

Despite this potential, the development of BIM-based workflows and RF processes have largely progressed in parallel. In many cases, BIM remains primarily a representational or documentation tool, while fabrication workflows are developed independently through computational or fabrication-oriented software environments [3].

One of the main challenges in integrating BIM with RF is interoperability [2]. This challenge involves the translation of geometry, parameters, and metadata from BIM environments into fabrication-ready data while maintaining consistency and control throughout the process. Open standards, such as Industry Foundation Classes (IFC), aim to support this exchange of information; however, practical limitations remain, particularly when BIM models are used to support parametric and fabrication-driven geometries.

2. Related Work

This section presents a review of relevant studies related to BIM interoperability, RF workflows, and 3DCP in construction. The literature review is structured around three main themes that directly support the scope of this study: (i) BIM and data interoperability, (ii) BIM-driven RF workflows, and (iii) robotic 3DCP in architectural applications. The objective is not to provide an exhaustive review, but to position the research within existing approaches and to highlight the specific gap addressed by this study.

2.1 BIM and Interoperability

BIM has been widely adopted as a methodology for managing building information throughout the project lifecycle. The introduction of open data standards, such as IFC, aimed to enable interoperability between different software platforms and disciplines. ISO 16739 [4] defines the IFC data schema, while buildingSMART promotes its implementation as a neutral and open exchange format.

Several studies have shown that BIM platforms are effective for managing structured information, such as dimensions, quantities, and basic parameters. However, limitations arise when BIM is required to handle complex or highly parametric geometries. He et al. [5] demonstrated that BIM-enabled digital fabrication workflows can support industrialized construction, while emphasizing the importance of structuring parameters correctly to ensure consistency across platforms. These findings suggest that interoperability depends not only on the exchange format itself, but also on how data are modelled, structured, and exported.

These limitations become critical when BIM is used as a data source for parametric and fabrication-oriented workflows, where geometric flexibility and parameter control must coexist

with reliable information exchange, which is the focus of this study. Visual programming can act as a bridge between BIM models and digital fabrication workflows implemented in other applications, supporting unidirectional or bidirectional loops.

2.2 BIM-Driven Robotic Fabrication Workflows

The integration of BIM with RF has been explored through different computational and parametric approaches. Braumann and Brell-Cokcan [6] presented parametric workflows connecting architectural design environments to industrial robots, demonstrating the potential of computational design to bridge design intent and fabrication constraints.

More recent studies by Anane et al. [2,7] proposed BIM-driven Design-to-Manufacturing (DtM) workflows for off-site robotic prefabrication. These approaches position BIM as a central information environment, supporting parametric control, data exchange, and coordination between design and fabrication. Davtalab et al. [3] lso explored BIM-integrated platforms for robotic construction, expanding BIM beyond visualization and documentation.

Despite these contributions, many BIM-driven robotic workflows focus on modular or regular systems. The integration of BIM with irregular geometries, particularly in robotic 3DCP, remains less explored.

2.3 Robotic 3D Concrete Printing in Construction

Khoshnevis [8] introduced contour crafting as an early approach to automated concrete construction, establishing fundamental principles for layer-based fabrication. More recent off-site extrusion-based approaches using robotic manipulators, commonly known as 3DCP, have been widely adopted to automate construction processes and increase design flexibility [10]. Subsequent studies discussed the opportunities and challenges of digital concrete, including geometric freedom, process control, and system scalability [2]. Several critical parameters influencing fabrication performance, including nozzle height, nozzle width, extrusion velocity and nozzle travel speed have been identified [11–13]. Extrusion stability, layer adhesion, and overall print quality depend strongly on the combined control of rheology and process.

While these contributions significantly advance the understanding of robotic 3DCP processes, they are typically developed outside BIM environments. In most cases, 3DCP workflows rely on standalone computational models, with limited integration of BIM-based information, metadata, or open standards such as IFC. As a result, the potential of BIM to act as an information backbone for managing geometric, parametric and fabrication-related data in robotic 3DCP workflows remains underexplored.

3. Proposed BIM-driven framework

This section presents the proposed framework to integrate BIM, parametric modelling, and RF workflows applied to façade design. The framework is conceived as a DtM approach, in which BIM acts as the central environment for structured information management, while parametric tools support geometry generation and fabrication logic.

Rather than using BIM as a direct modelling tool for fabrication geometry, the framework establishes a controlled data pipeline that connects BIM with parametric modelling environments and RF systems through IFC model. This separation allows BIM to manage

parameters and metadata, while geometric complexity, continuity constraints, and fabrication logic are addressed within the parametric model (Figure 1).

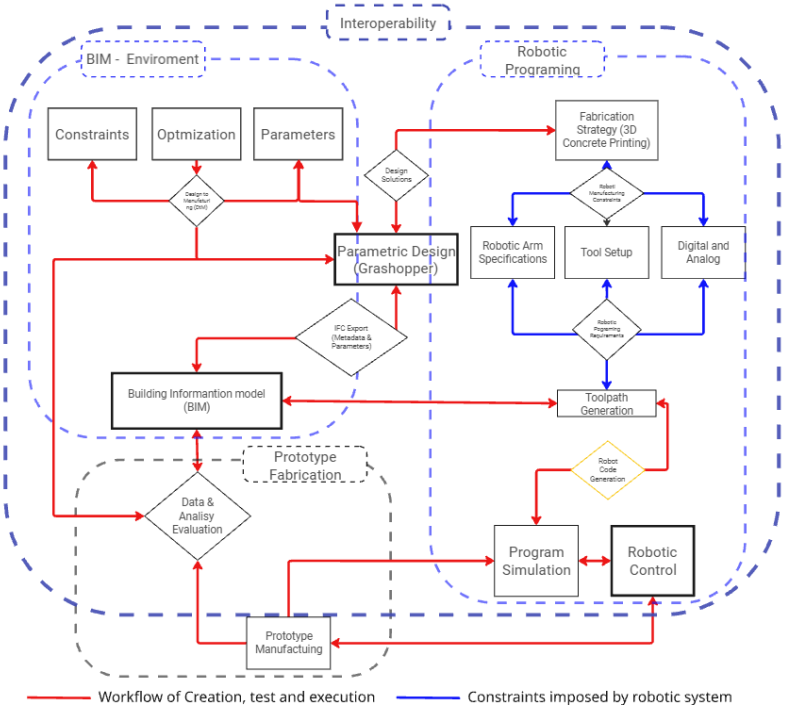


Figure 1: BIM-driven design-tomanufacturing framework integrating parametric modelling (Grasshopper) and robotic fabrication, highlighting IFC-based data exchange and constraints imposed by the robotic system (adapted from Anane et al., 2023).

3.1 Framework overview

The workflow begins in a BIM environment, where the façade element is defined according to architectural intent and global dimensional constraints (Figure 2). The BIM model is intentionally simplified and structured to store essential information, such as height, width, volume, reference geometry, and project-specific metadata required for interoperability. In this study, the façade element is defined by its perimeter geometry and includes two openings, introducing irregular conditions that directly influence the parametric and fabrication processes. This BIM-defined element is then used as input for a parametric modelling environment (Grasshopper), where the façade geometry is generated and adapted for RF. The parametric model enables the creation of irregular and non-standard geometries based on continuous extrusion logic for additive manufacturing. Geometric variation, layer definition, and continuity of the extrusion path are controlled at this stage, while respecting robotic reach, tool orientation, and fabrication constraints.

The output of the parametric model consists of fabrication-ready data, including geometric representations and robot instructions for continuous material deposition. Two data transfer strategies were explored: (1) direct geometry-based transfer, and (2) parameter-based reconstruction via IFC metadata. These outputs are not transferred back to BIM as detailed fabrication geometry. Instead, only selected parameters and non-geometric metadata (e.g., global dimensions, volume, and identification attributes) remain associated with the BIM model through IFC model. This strategy ensures consistency between the digital representation and the fabricated element.

3.2 Software Interoperability and Data Flow

The adopted software configuration is illustrated in Figure 2 and reflects a clear separation of roles between BIM authoring, parametric modelling, and RF environments. Autodesk Revit was used to define the façade element as a parametric family and store project-specific metadata. Grasshopper, operating within a Rhinoceros environment, was employed for parametric geometry generation and fabrication-oriented transformations, while robotic simulation and code generation were carried out using the KUKA|prc plugin.

In this workflow, the process is initiated within the BIM environment, where the façade geometry is structured as a simplified parametric element. This approach ensures consistency with BIM-based information management processes and enables the integration of structured data into downstream computational stages.

Data interoperability between BIM and the parametric model was established through IFC model. In this context, the IFC model was structured using IfcCovering elements enriched with custom property sets containing dimensional parameters (height, width, thickness) and identifiers. These parameters were extracted in Grasshopper and used to reconstruct the façade geometry, rather than relying on IFC geometry itself. The IFC model therefore acts as a structured information container, providing non-geometric data to drive the parametric model. Further details on data structuring and geometric reconstruction are discussed in Section 4.

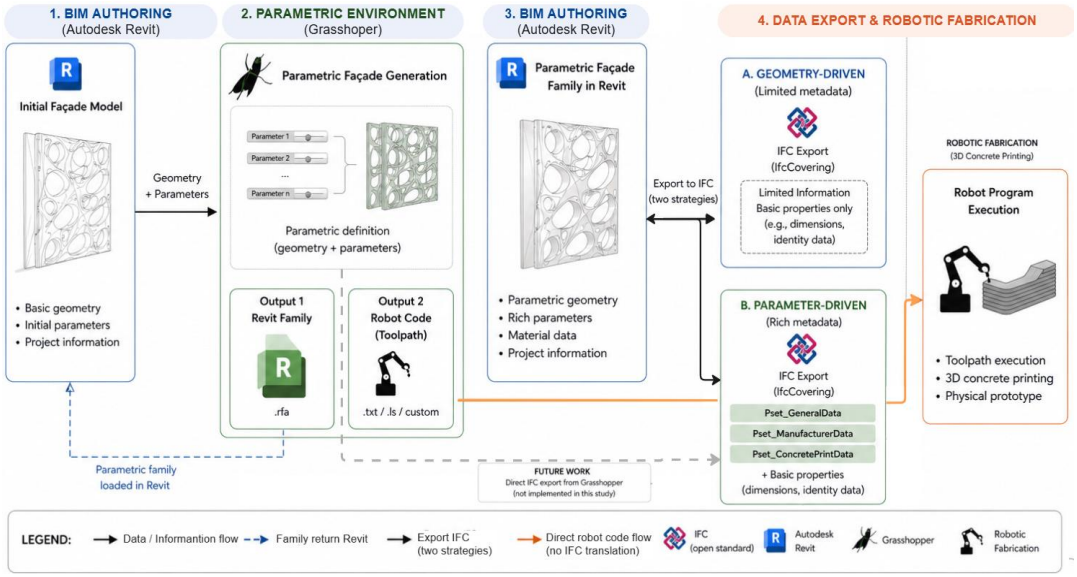


Figure 2: BIM-driven workflow from parametric modelling to IFC export and robotic fabrication. The façade is generated in Grasshopper and returned to Revit, where two IFC export strategies (geometry-driven and parameter-driven) are defined. Robotic toolpaths are generated directly from the parametric model without IFC translation.

4. Implementation

This section presents the implementation of the proposed framework through a case study focused on a generative façade element fabricated using robotic 3DCP. The implementation

demonstrates how BIM-based parameters and metadata are translated into parametric geometry and subsequently into RF data.
The case study was developed based on technical and geometric constraints derived from information provided by Blufab regarding the CREE construction system. These constraints informed the definition of the façade element, which includes an irregular perimeter with two openings, and were used to evaluate how BIM-based information can serve as a reliable input for fabrication-oriented workflows while preserving geometric consistency and metadata.

4.1 Parametric and Computational Model

The façade element is modelled as a parametric family designed to store essential dimensional parameters and metadata. Key parameters include height, width, thickness, reference planes, and volumetric information, which are used as direct inputs for the computational model. The boundary curves extracted from the BIM element, including the window opening, play a central role in defining the parametric logic.
The computational model reconstructs the façade geometry based on this perimeter, generating an irregular surface adapted to continuous extrusion constraints. The surface is subdivided into convex regions, which are sorted to ensure Hamiltonian cycles. These surfaces are further subdivided to generate space-filling curves for 3D printing, considering surface maximal orientation and thread thickness. Robotic limitations such as reach and tool orientation are also considered. As a result, geometric variation is controlled within the parametric environment while remaining dependent on BIM-defined constraints as illustrated in figure 3.

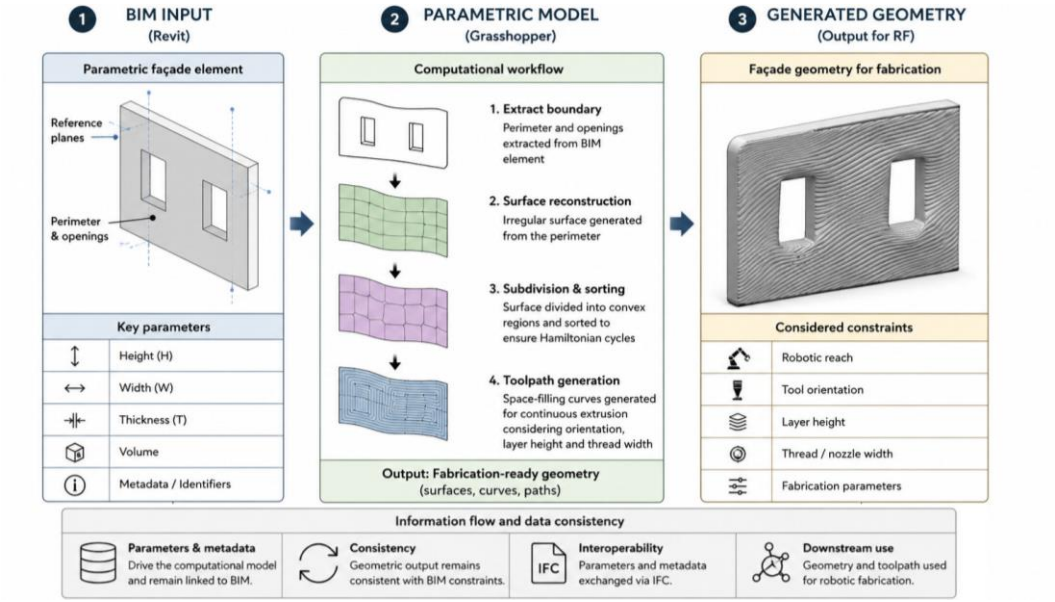


Figure 3: Schematic representation of the BIM-to-RF computational workflow, including parametric modelling, geometry generation, and data flow towards robotic fabrication.

4.2 BIM Integration and Metadata Structuring

The generated geometry and associated parameters were integrated into a BIM environment to support information management and interoperability. Although direct connections between parametric modelling environments and BIM authoring tools are possible through plug-ins such as Rhino.Inside.Revit, this study deliberately adopts an IFC-based exchange strategy. This

choice reflects the objective of evaluating an open, software-independent interoperability workflow, rather than relying on tightly coupled proprietary solutions.

To evaluate interoperability, two different BIM export strategies were tested using the IFC format. Both strategies were applied to the same façade element but differed in how geometry and parameter sets (Psets) were structured prior to export. The first strategy is geometry-driven, resulting in a triangulated surface representation with limited associated metadata. The second strategy is parameter-driven, using IfcCovering elements enriched with custom property sets to preserve semantic information and enable parameter extraction in the parametric environment. In this study, façade elements were exported using IfcCovering entities to better represent non-structural façade components within the IFC schema.

The exported IFC models were analysed using an external BIM viewer to compare geometric representation, parameter availability, and metadata consistency. As illustrated in Figure 4a–b, the comparison shows that the parameter-driven approach preserves the defined Psets and maintains a higher level of associated metadata, whereas the geometry-driven export results in a simplified representation with reduced semantic content. In this context, the IFC model acts primarily as a structured information container, supporting data exchange rather than fabrication-oriented geometry.

Despite limitations in representing highly irregular and fabrication-oriented geometries, the results demonstrate that BIM remains effective for managing fabrication-related parameters and metadata when geometric complexity is controlled and delegated to the parametric environment. The framework also supports the inclusion of editable metadata, enabling adaptation to different projects without restructuring the computational model.

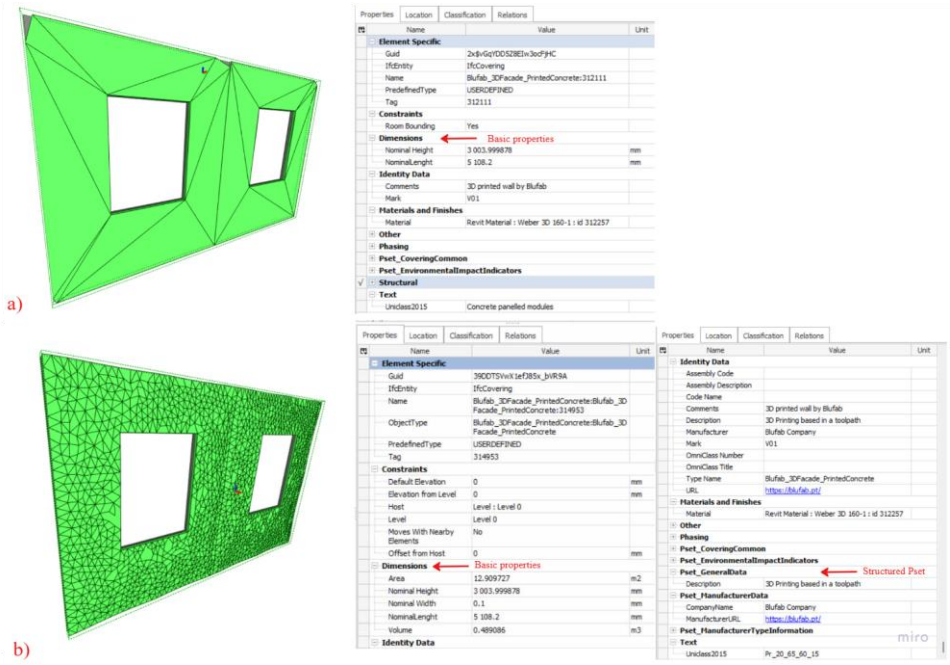


Figure 4a-b: Comparison of two IFC export strategies for the same façade element. (a) Geometry-driven export, showing triangulated geometry with limited metadata. (b) Parameter-driven export using IfcCovering elements with structured property sets (Psets), preserving semantic information and enabling parameter extraction, including Pset_ManufacturerData and Pset_GeneralData. Models were visualized in BIM Vision.

4.3 Robotic Fabrication and Toolpath Generation

Following the generation of the parametric façade geometry, the computational model translates the resulting surfaces and curves into robotic instructions for extrusion-based fabrication. This step is developed within a parametric environment using the *KUKA|prc* plugin (figure 5).

Fabrication parameters such as nozzle speed and layer height are embedded in the robotic instructions, allowing limited adaptation to local geometric conditions and area subdivision. Although alternative toolpath strategies were explored during development, the implementation focuses on validating a single, stable fabrication solution, prioritizing workflow reliability and interoperability over geometric variation. Robotic simulation was used to verify the feasibility of the generated toolpath, thereby confirming consistency between the parametric model and the executable robot instructions prior to fabrication.

Although geometry generation and toolpath definition occur within the same integrated environment, the robotic toolpath remains constrained by BIM-defined parameters, such as global dimensions, reference geometry, and element boundaries.



Figure 5: Robotic toolpath generated from the parametric façade geometry, illustrating the continuous extrusion strategy adopted for 3DCP.

4.4 Prototype Fabrication and Testing

A reduced-scale prototype was produced using the 3DCP setup of the ARENA Lab, at the School of Architecture, Art, and Design of the University of Minho. The reduced façade model was developed by Blufab based on the CREE construction system and adapted for RF. This prototype was used to validate the complete workflow, from BIM-based modelling to parametric geometry generation and RF.

The transition from the full-scale façade geometry to the reduced-scale prototype required only minor adjustments to the base geometry, confirming the robustness of the proposed framework under the tested conditions. The fabrication process was carried out using a KUKA KR120 R2700 robot and completed in under 15 minutes (figure 6).

The prototype was evaluated based on dimensional deviation (measured against the digital model), extrusion continuity, and layer stability during printing. Issues observed during prototyping were primarily related to material behaviour, namely overheating caused by elevated input water temperatures, which affected extrusion stability. These issues were

associated with fabrication and material conditions rather than with the digital workflow or data interoperability, reinforcing the reliability of the proposed BIM-driven framework.



Figure 6: Scaled 3DCP prototype produced to preliminarily validate the proposed BIM-driven RF workflow.

5. Results and Discussion

The results confirm that a BIM-driven workflow can effectively mediate between parametric modelling and robotic fabrication for façade design, when BIM is positioned as an information management layer rather than a fabrication modelling environment. Visual programming proved essential for translating BIM-defined parameters into RF data while maintaining consistency across digital platforms.

Interoperability depends less on the exchange format itself than on upstream modelling decisions. The comparison of IFC export strategies demonstrates that geometric fidelity and metadata preservation are directly influenced by how parameters and reference geometry are structured in the BIM authoring environment. While IFC performs reliably as a neutral carrier of control parameters and semantic information, it remains unsuitable for representing fabrication-oriented geometry or toolpath logic.

The computational model supported irregular geometries and continuous extrusion paths within the tested conditions, highlighting a deliberate trade-off between a simplified BIM model and fabrication-driven geometric freedom in the parametric environment. This separation enables interoperability without constraining robotic design potential.

Prototype fabrication preliminarily validated the workflow and clarified that observed issues—such as extrusion instability and layer deformation—were primarily related to material behaviour and fabrication parameters rather than to data exchange. Overall, the framework proved potentially replicable for similar extrusion-based RF scenarios, although its extension to more complex geometries or alternative fabrication systems would require further refinement of the computational model and more flexible interoperability strategies. Full-scale validation remains a limitation and is identified as future work. A cost-benefit analysis was outside the scope of this study.

Acknowledgements
The authors would like to acknowledge ACTech Hub, ARENA – Advanced Design and Technology Lab (University of Minho), Blufab (Grupo CASAIS), and the BIM A+ programme for their institutional support, technical resources, and collaboration that contributed to the development of this work.

References

[1] C.M. Eastman, The Use of Computers Instead of Drawings in Building Design., AIA Journal 63 (1975) 46–50.
[2] W. Anane, I. Iordanova, C. Ouellet-Plamondon, BIM-driven computational design for robotic manufacturing in off-site construction: an integrated Design-to-Manufacturing (DtM) approach, Automation in Construction 150 (2023) 104782. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.104782.
[3] O. Davtalab, A. Kazemian, B. Khoshnevis, Perspectives on a BIM-integrated software platform for robotic construction through Contour Crafting, Automation in Construction 89 (2018) 13–23. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.01.006.
[4] ISO TC184/SC4, Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing in the construction and facility management industries, (2018).
[5] R. He, M. Li, V.J.L. Gan, J. Ma, BIM-enabled computerized design and digital fabrication of industrialized buildings: A case study, Journal of Cleaner Production 278 (2021) 123505. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123505.
[6] J. Braumann, S. Brell-Cokcan, Parametric Robot Control: Integrated CAD/CAM for Architectural Design, in: Banff (Alberta), Canada, 2011: pp. 242–251. https://doi.org/10.52842/conf.acadia.2011.242.
[7] W. Anane, I. Iordanova, C. Ouellet-Plamondon, Modular Robotic Prefabrication of Discrete Aggregations Driven by BIM and Computational Design, Procedia Computer Science 200 (2022) 1103–1112. https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.01.310.
[8] B. Khoshnevis, Automated construction by contour crafting—related robotics and information technologies, Automation in Construction 13 (2004) 5–19. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2003.08.012.
[9] S. Lim, R.A. Buswell, T.T. Le, S.A. Austin, A.G.F. Gibb, T. Thorpe, Developments in construction-scale additive manufacturing processes, Automation in Construction 21 (2012) 262–268. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2011.06.010.
[10] T. Wangler, E. Lloret, L. Reiter, N. Hack, F. Gramazio, M. Kohler, M. Bernhard, B. Dillenburger, J. Buchli, N. Roussel, R. Flatt, Digital Concrete: Opportunities and Challenges, RILEM Tech Lett 1 (2016) 67–75. https://doi.org/10.21809/rilemtechlett.2016.16.
[11] M.K. Mohan, A.V. Rahul, G. De Schutter, K. Van Tittelboom, Extrusion-based concrete 3D printing from a material perspective: A state-of-the-art review, Cement and Concrete Composites 115 (2021) 103855. https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2020.103855.
[12] N. Roussel, Rheological requirements for printable concretes, Cement and Concrete Research 112 (2018) 76–85. https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2018.04.005.
[13] A. Alhussain, J.P. Duarte, N.C. Brown, Developing a data-driven filament shape prediction model for 3D concrete printing, Front. Built Environ. 10 (2024) 1363370. https://doi.org/10.3389/fbuil.2024.1363370.

12345

MODULIB: PLATAFORMA PARA CONCEÇÃO E INDUSTRIALIZAÇÃO DE MÓDULOS ARQUITETÓNICOS

Sofia Feist, Pedro Andrade, Margarida Amândio, Luís Sanhudo, Maria João Tomé, Vitor E.M. Cardoso, Fábio Gonçalves

ptBIM

MODULIB: PLATAFORMA PARA CONCEÇÃO E INDUSTRIALIZAÇÃO DE MÓDULOS ARQUITETÓNICOS

Sofia Feist [(1)], Pedro Andrade [(2)], Margarida Amândio [(3)], Luís Sanhudo [(4)], Maria João Tomé [(5)], Vitor E.M. Cardoso [(6)], Fábio Gonçalves [(7)]

(1) BUILT CoLAB, Lisboa, 0000-0003-2525-2899
(2) Blufab, Braga, 0000-0001-6953-7082
(3) BUILT CoLAB, Lisboa, 0000-0002-6340-0648
(4) BUILT CoLAB, Porto, 0000-0002-2578-6981
(5) BUILT CoLAB, Porto, 0009-0004-5020-3399
(6) BUILT CoLAB, Porto, 0000-0002-4886-2406
(7) TopBIM, Braga, 0009-0008-3768-1950

Resumo

A arquitetura modular tem-se afirmado como uma abordagem que potencia uma construção mais eficiente e sustentável, permitindo a redução de custos, prazos de execução e desperdício de materiais. A sua integração com metodologias digitais, como o BIM, reforça este potencial ao viabilizar a parametrização de elementos construtivos, a coordenação entre especialidades e a geração automatizada de informação e documentação.

Com base nestes princípios, este artigo apresenta o *ModuLIB*, uma solução composta por uma plataforma *web* e um *plug-in* para *Autodesk Revit*, que integra ferramentas de criação, configuração e desenvolvimento de divisórias modulares, com especial foco em instalações sanitárias, bem como uma biblioteca de objetos modulares acessível dentro e fora de ambientes BIM.

As ferramentas de criação de arquitectura modular abrangem o processo de construção desde a conceção até à execução, incluindo a definição paramétrica dos elementos construtivos, adaptada à configuração arquitetónica pretendida e otimizada para fabrico industrial, bem como a verificação automática do cumprimento de requisitos ergonómicos e regulamentares dos módulos resultantes. A plataforma permite ainda a produção de desenhos gráficos 2D para fabrico, a extração automática de tabelas de quantidades para orçamentação e a exportação dos módulos criados em formato IFC facilitando a sua integração com ferramentas BIM.

Desta forma, o *ModuLIB* contribui para a customização em massa, transformando soluções arquitetónicas em produtos configuráveis e preparados para a produção industrializada, alinhando o processo de projeto com a lógica *BIM-to-Fabrication*.

1. Introdução

Apesar dos avanços na adoção de metodologias *Building Information Modelling* (BIM) e na crescente industrialização da construção, o desenvolvimento de arquitetura modular continua a enfrentar desafios significativos, tanto ao nível do projeto como da produção. Por um lado, os projetistas carecem de ferramentas que facilitem a modelação de arquitectura modular *construction-ready*, capazes de traduzir soluções arquitetónicas em sistemas construtivos modularizados e subdivididos em painéis, preparados para a produção industrial e a execução em obra. Por outro lado, os fabricantes e os fornecedores, de soluções modulares enfrentam limitações no acesso a ferramentas de modelação flexíveis fora de ambientes BIM, que lhes permitam fornecer um catálogo de soluções industrializadas, e configuráveis às especificidades de cada projeto, mantendo a consistência técnica e a interoperabilidade com os processos de projeto digital.

Este artigo apresenta o *ModuLIB*, uma solução integrada composta por uma biblioteca de objetos BIM modulares, inicialmente criados e configurados em ambiente BIM através das ferramentas de gestão *AdminTools*, e um Configurador *Web*, como um ambiente de modelação 3D na *web,* que visa apoiar a criação, configuração e validação de arquitetura modular com documentação pronta para fabrico. A plataforma permite traduzir soluções arquitetónicas em sistemas construtivos modularizados e subdivididos em painéis, suportados por objetos BIM e alinhados com processos de produção industrial. Esta solução foi desenvolvida em parceria entre o BUILT CoLAB e o Grupo CASAIS com objetivo de desenvolver e facilitar o acesso a soluções modulares configuráveis e industrializadas.

A interoperabilidade da solução com ferramentas BIM é assegurada pela compatibilidade da biblioteca *ModuLIB* dentro e fora do ambiente BIM, bem como através da exportação das soluções arquitetónicas configuradas em formato *Industry Foundation Classes* (IFC), um formato aberto e normalizado que assegura a interoperabilidade entre ferramentas BIM. Adicionalmente, o sistema gera automaticamente documentação 2D e tabelas de quantidades, apoiando a transição do modelo digital para processos de orçamentação e fabrico.

2. Estado da Arte

A industrialização da construção tem sido amplamente reconhecida como um caminho para responder a desafios estruturais do setor, como a baixa produtividade, a fragmentação dos processos e a dificuldade em garantir previsibilidade de custos, prazos e qualidade. Neste contexto, a arquitetura modular destaca-se por promover a padronização, a produção *off-site* assente em princípios e processos *Lean* e a repetição controlada de soluções, permitindo ganhos significativos de eficiência e sustentabilidade. A adoção de metodologias BIM reforça este potencial ao suportar a modelação paramétrica, a coordenação entre especialidades e a geração automática de informação técnica. Contudo, a maioria das bibliotecas BIM existentes permanece centrada em componentes isolados, oferecendo um suporte limitado à definição e gestão de sistemas modulares completos, preparados para fabrico industrial.

Paralelamente, a literatura identifica uma transição progressiva de abordagens *Engineer-to-Order* (ETO), baseadas no desenvolvimento específico de soluções para cada projeto, para estratégias *Configure-to-Order* (CTO), em que a customização é realizada através da configuração de módulos e opções previamente definidas. Esta mudança está associada ao

conceito de customização em massa, que procura conciliar variabilidade arquitetónica com eficiência produtiva através da definição explícita de um espaço de soluções configurável [1, 2]. Neste enquadramento, os configuradores digitais assumem um papel central, ao permitir a configuração controlada de soluções modulares com base em regras geométricas, técnicas e regulamentares, reduzindo a necessidade de engenharia em diferentes fases do projeto.
Apesar destes avanços, persistem desafios relacionados com a interoperabilidade e com o acesso a ferramentas de configuração fora de ambientes BIM tradicionais. A integração entre bibliotecas modulares, configuradores e fluxos de trabalho *BIM-to-Fabrication* continua fragmentada, limitando a adoção de práticas de industrialização ao longo da cadeia de valor. Assim, a literatura aponta para a necessidade de soluções integradas que combinem objetos BIM modulares, mecanismos de configuração baseados em regras e interfaces digitais interoperáveis, capazes de suportar a conceção, validação e preparação para fabrico de arquitetura modular de forma consistente e escalável [3, 4].

3. Ecossistema *ModuLIB*: Arquitetura

O ecossistema *ModuLIB* foi concebido como uma arquitetura distribuída composta por diferentes componentes interligados que, em conjunto, suportam a criação, gestão e configuração de um catálogo de objetos modulares. Este ecossistema, ilustrado na Figura 1, integra o *ModuLIB*, uma biblioteca de objetos BIM modulares, o *AdminTools*, ferramenta de gestão que permite popular e gerir esta biblioteca, e um Configurador *Web*, um modelador 3D hospedado na *web*, capaz de traduzir soluções arquitetónicas modulares simples em sistemas construtivos detalhados e completos, assim como gerar automaticamente a documentação necessária para fabricação.
A arquitetura adotada visa apoiar a consulta do catálogo de objetos modulares, assim como a sua gestão e configuração, dentro e fora de ambiente BIM. Esta secção apresenta a arquitetura do sistema, descrevendo os conceitos fundamentais que estruturam a biblioteca e explicando o papel e a interação entre a biblioteca *ModuLIB*, as *AdminTools* e o Configurador *Web* no suporte a fluxos de trabalho BIM e *BIM-to-Fabrication*.

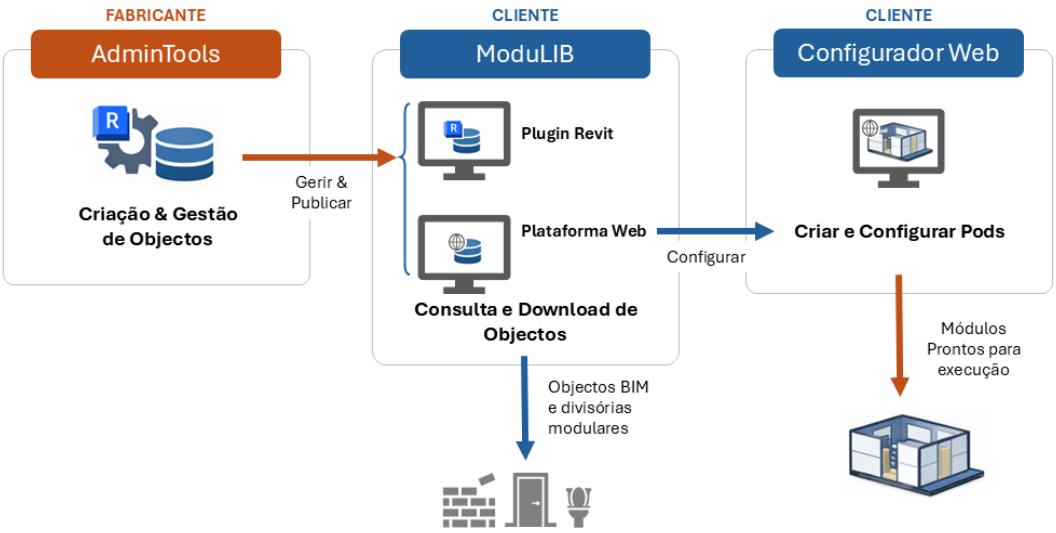


Figura 1: Diagrama da arquitetura do ecossistema *ModuLIB*.

3.1 Conceitos base

A biblioteca *ModuLIB* é composta por três tipos de objetos modulares, com diferentes graus de granularidade: *Pods*, Elementos e Texturas. Os *Pods* são unidades modulares volumétricas, compostas por múltiplos Elementos. Estes podem corresponder a quartos ou espaços 3D modulares completos, ou apenas a um conjunto de objetos que funcionam como uma unidade; e.g. uma instalação sanitária completa, composta por paredes, pavimento e equipamentos. Os Elementos correspondem aos tipos de objetos que compõem os *Pods*, i.e., tipos de paredes, tipos de pavimentos, tipos de tetos, ou outros tipos de objetos. As Texturas correspondem aos materiais que compõem cada Elemento; por exemplo, uma porta poderá ser composta por diferentes materiais, e.g. o pano da porta em madeira maciça, a maçaneta e dobradiças em aço inox.

Estes objetos seguem a seguinte hierarquia: os *Pods* são compostos por Elementos, e os Elementos contêm Texturas.

3.2 Biblioteca *ModuLIB*

A biblioteca *ModuLIB* constitui o principal ponto de acesso ao catálogo de *Pods*, Elementos e Texturas, suportando a navegação e consulta do catálogo através de grelhas de cartões com pré-visualização tridimensional (ver Figura 2). A exploração dos conteúdos é facilitada por funcionalidades integradas de filtragem, ordenação e pesquisa, que permitem refinar e reorganizar os resultados com base em atributos técnicos, metadados e métricas geométricas dos objetos (e.g., filtrar *Pods* pela sua área). A biblioteca *ModuLIB* inclui também uma funcionalidade de comparação de objetos que permite a análise lado a lado de *Pods*, Elementos ou Texturas, através de vistas dedicadas a cada tipo de objeto. A informação é apresentada de forma estruturada, com tabelas de atributos relevantes, o que facilita a identificação de semelhanças e diferenças entre objetos.

A biblioteca *ModuLIB* existe sobre a forma de *plug-in* para o *Autodesk Revit*, podendo ser acedida dentro de ambiente BIM, e sob a forma de plataforma *web*, acessível fora de ambiente BIM. Dentro do *Revit*, os objetos podem ser consultados, comparados, e inseridos diretamente no projeto aberto. Na plataforma *web*, o utilizador pode também aceder ao configurador *web* que permite usar os objetos da biblioteca para configurar novos *Pods* com toda a documentação necessária para fabrico. As funcionalidades do configurador serão apresentadas na secção 3.4.

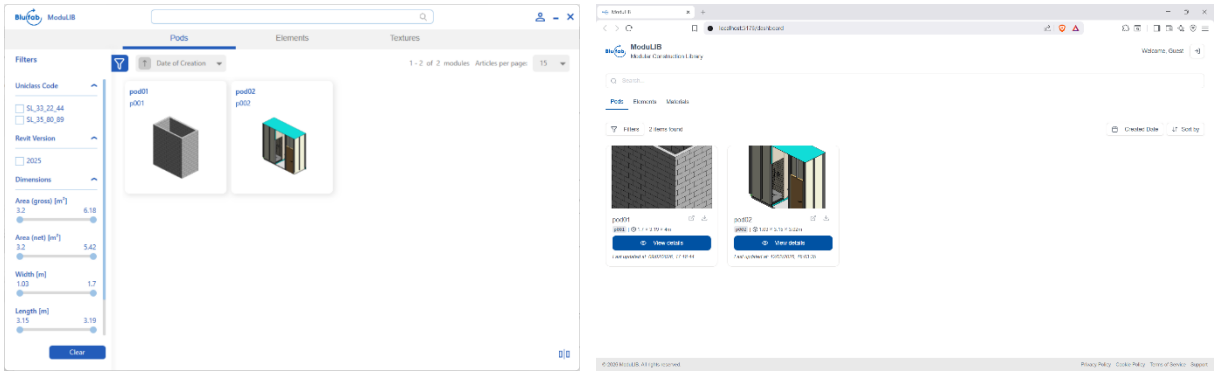


Figura 2: Interface gráfica do *ModuLIB*. Esquerda, *ModuLIB plug-in* em ambiente *Autodesk Revit*. Direita, *ModuLIB web* em ambiente *web*.

3.3 *ModuLIB AdminTools*

O *AdminTools* é uma extensão do *ModuLIB* que disponibiliza funcionalidades de gestão e administração da biblioteca. O Admin Tools foi desenvolvido como um *plug-in* para o *Autodesk Revit* devido à necessidade de reaproveitar modelos BIM de fabricantes já modelados em Revit, e de integrar o ecossistema *ModuLIB* com o fluxo de trabalho *BIM-to-Fabrication* existente. Para além das funcionalidades base de navegação e consulta do catálogo *ModuLIB* (incluindo filtragem, ordenação e pesquisa), o *AdminTools* dispõe também de todas as ferramentas necessárias para a criação, atualização e eliminação de objetos na biblioteca, em ambiente BIM. Todos os *Pods*, Elementos e Texturas disponíveis na biblioteca, quer em ambiente *Revit* quer na plataforma *web*, devem ser criados através destas ferramentas, configurando os objetos com todas as informações BIM e metadados necessários para serem usados na biblioteca e no configurador.

3.4 Configurador *Web*

O Configurador *Web* é um modelador 3D de *Pods* que permite criar, configurar e transformar soluções arquitetónicas em sistemas construtivos modularizados e subdivididos em painéis. A plataforma recorre aos objetos BIM disponibilizados na biblioteca *ModuLIB* para a modelação tridimensional, possibilitando simultaneamente a modelação e configuração de modelos 3D de *Pods* em ambiente *web*. A partir da plataforma *ModuLIB web*, o utilizador pode configurar novos *Pods*, quer a partir de *Pods* existentes, quer através da criação de soluções de raiz.

O Configurador *Web* foi concebido para suportar diferentes fases do desenvolvimento de arquitectura modular, desde a definição da sua configuração espacial até à preparação da informação necessária para fabrico. Para tal, integra mecanismos de validação automática que permitem verificar, em tempo real, a conformidade da solução configurada com requisitos geométricos, ergonómicos e regulamentares, reduzindo a ocorrência de erros de projeto em fases posteriores.

Para além da modelação e validação, o Configurador *Web* suporta também a geração automática de informação técnica associada aos *Pods* configurados, incluindo a definição de sistemas construtivos subdivididos em painéis, a extração de quantidades e a produção de documentação 2D para fabrico. A interoperabilidade com ferramentas BIM é assegurada através da exportação dos *Pods* em formato IFC, permitindo a sua reintegração em modelos BIM de projeto e coordenação.

4. Workflow: towards BIM-*to-Fabrication*

Esta secção apresenta uma demonstração do *workflow* de utilização do ecossistema *ModuLIB*, ilustrando a integração entre a biblioteca de objetos BIM, o configurador *web* e as ferramentas de gestão *AdminTools*. O objetivo é evidenciar a continuidade do fluxo de informação desde a conceção arquitetónica até à preparação para fabrico, bem como a interoperabilidade entre ambientes BIM e plataformas externas.

O *workflow* tem início no *AdminTools*, onde os fabricantes podem introduzir os seus produtos na biblioteca, sob a forma de objetos BIM. Ao contrário das bibliotecas tradicionais de objetos BIM, o *ModuLIB* inclui não só famílias de objetos, como também materiais e soluções modulares completas, i.e., *Pods*. O primeiro passo seria então popular a biblioteca com estes objectos para poderem ser utilizados no *ModuLIB* e no configurador.

4.1 *AdminTools*

Através das ferramentas de criação do *AdminTools*, é possível criar *Pods*, Elementos e Texturas, com os seus respetivos metadados, e publicá-los na biblioteca.

Para os *Pods*, são registados metadados identificadores do *Pod*, tais como o nome, a descrição e o *Uniclass Code* do quarto modelado que identifica o tipo de espaço (e.g., casa de banho, lavabo, etc), assim como as dimensões gerais da divisão (e.g., área, altura, largura, profundidade) e a lista de Elementos que o compõem. Esta lista de elementos contém ainda a informação necessária para a reconstrução do *Pod* em ambientes tridimensionais, como o configurador. Para cada instância de elemento são registados os parâmetros de localização, escala e orientação no espaço. É igualmente gerada automaticamente uma imagem representativa do *Pod*, a partir de uma vista 3D do modelo BIM que evidencie a sua arquitetura e os respetivos elementos, a qual serve como imagem de capa do *Pod* na biblioteca. Adicionalmente, são armazenados diversos ficheiros de geometria associados ao *Pods*, nomeadamente um ficheiro .rvt com a sua arquitetura, permitindo a sua futura reinserção no *Revit* através do *plug-in ModuLIB*, e ficheiros .obj e .mtl destinados ao visualizador 3D da biblioteca.

Os Elementos estão associados a uma família de objetos no contexto do *Revit*, sendo registadas informações relativas à família e ao tipo correspondente, bem como metadados introduzidos pelo utilizador, incluindo categoria, descrição e código único identificador e, opcionalmente, um URL para a ficha técnica ou página do produto. Adicionalmente, são registados parâmetros extraídos automaticamente do *Revit*, incluindo parâmetros obtidos para todos os elementos e outros específicos da categoria do elemento. Entre os parâmetros comuns incluem-se o *host* e a normal, necessários para a correta reutilização do elemento no configurador. O *host* define a existência e o tipo de superfície onde deve ser colocado (chão, teto ou parede), enquanto a normal permite determinar o posicionamento do elemento relativamente a essa superfície, quando existente. Podem ainda ser guardadas as Texturas associadas aos diferentes componentes do objeto. No momento da publicação, são armazenados uma imagem representativa do Elemento, ficheiros .obj e .mtl relativos à sua geometria e, consoante o caso, um ficheiro .rfa caso se trate de uma família *Revit*, ou um ficheiro .rvt com o objeto reduzido a dimensões unitárias caso se trate de uma família de sistema (e.g. tipos de paredes, chãos ou tetos). Este último permite a reutilização do mesmo objeto em diferentes configurações, alterando as medidas unitárias através de operações de transformação geométrica (e.g., translação, rotação, escala).

As Texturas estão associadas aos materiais definidos no *Revit* e devem ser registadas com o respetivo nome, descrição, categoria, fabricante, modelo, custo, cor e transparência, conforme especificado no material original do *Revit*. Sempre que aplicável, o objeto é também publicado com a respetiva imagem de *mapping*.

4.2 *ModuLIB*

Uma vez publicados na biblioteca, os objetos ficam disponíveis tanto em ambiente BIM, através do *plug-in ModuLIB* para *Revit*, como na plataforma *ModuLIB web*. A base de dados de objetos é partilhada entre as plataformas e ambas disponibilizam o mesmo catálogo estruturado de *Pods*, Elementos e Texturas, permitindo a sua consulta, filtragem, comparação e seleção de objetos com base em atributos técnicos, ou geométricos.

Cada objeto pode ser consultado para examinar os metadados e dados técnicos associados a esse objeto (ver Figura 3), tal como inseridos no *AdminTools*, adicionado à lista de favoritos do

utilizador e os ficheiros podem ser descarregados localmente. Dentro do *plug-in Revit*, o utilizador pode ainda optar por importar os objetos da biblioteca diretamente para dentro de um projeto *Revit* aberto, usando os ficheiros .rvt guardados na biblioteca, sob a forma de ficheiros vinculados. Fora do *Revit*, o utilizador pode também iniciar a configuração de *Pods* existentes no Configurador *Web*.

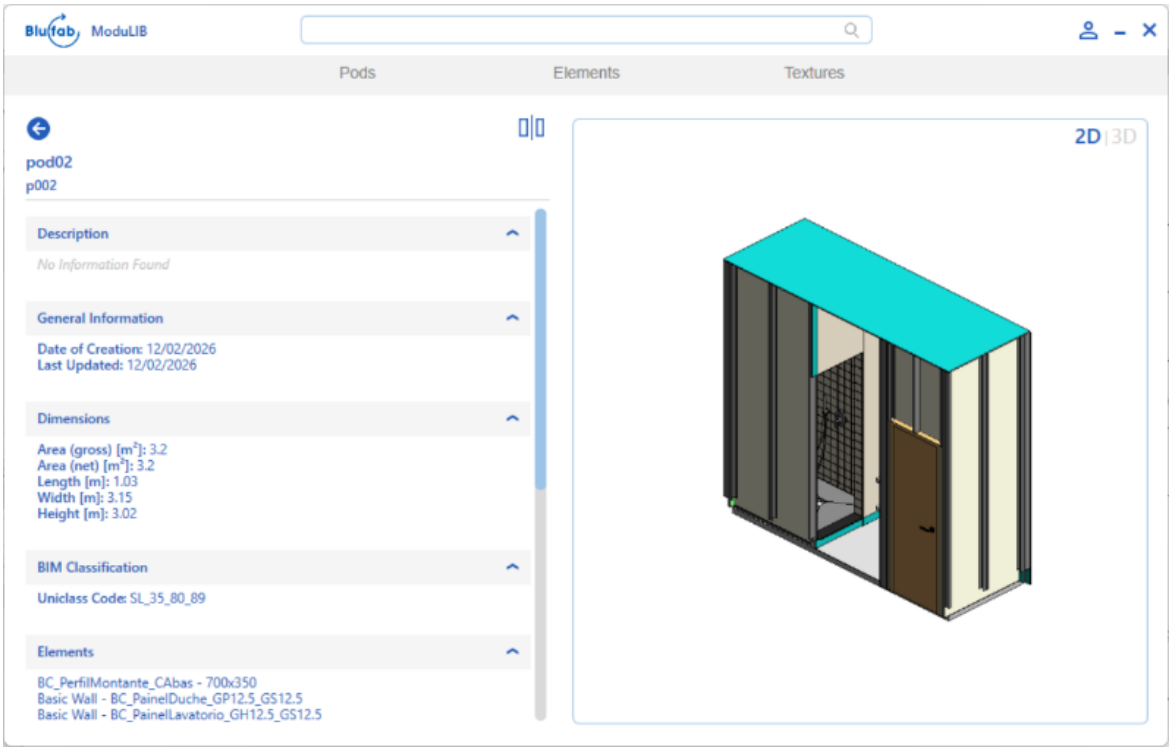


Figura 3: Interface gráfica da página de um *Pod* no *ModuLIB plug-in*.

4.3 Configurador *Web*

Na configuração de um *Pod*, o configurador segue um *workflow* com cinco fases: *Layout*, *Finishes*, *Equipment*, *Panels* e *Export*, visíveis nos separadores na Figura 4.

Na fase *Layout*, o utilizador pode definir a arquitetura geral do *Pod*, subdividindo, movendo ou eliminando paredes, e ajustando dimensões para obter a configuração arquitetónica pretendida. Nesta fase também é definida a altura das paredes, e o posicionamento e dimensionamento das portas e aberturas.

Na fase *Finishes*, o utilizador pode configurar os acabamentos e a composição construtiva das paredes, incluindo a introdução de secções horizontais de parede tais como, rodapé, lambrim, e cornilha. Para cada secção, pode ser atribuído um material da biblioteca de Texturas disponíveis na biblioteca *ModuLIB*, a sua altura, espessura, e posicionamento do mapa UV na geometria da parede.

Na fase *Equipment*, são introduzidos e configurados os equipamentos do *Pod*, recorrendo aos Elementos BIM provenientes da biblioteca *ModuLIB*. Durante esta fase, o sistema executa automaticamente verificações de colisões e de conformidade com requisitos ergonómicos e regulamentares (e.g., distâncias mínimas entre equipamentos), ao colocar e movimentar os objectos em cena, assinalando eventuais incumprimentos com avisos para serem corrigidos (e.g. uma sanita não deve ser colocada a menos de 51cm de um lavatório). Numa instalação

sanitária de acessibilidades são feitas verificações adicionais de requisitos, e qualquer incumprimento no modelo 3D é reportado ao utilizador.

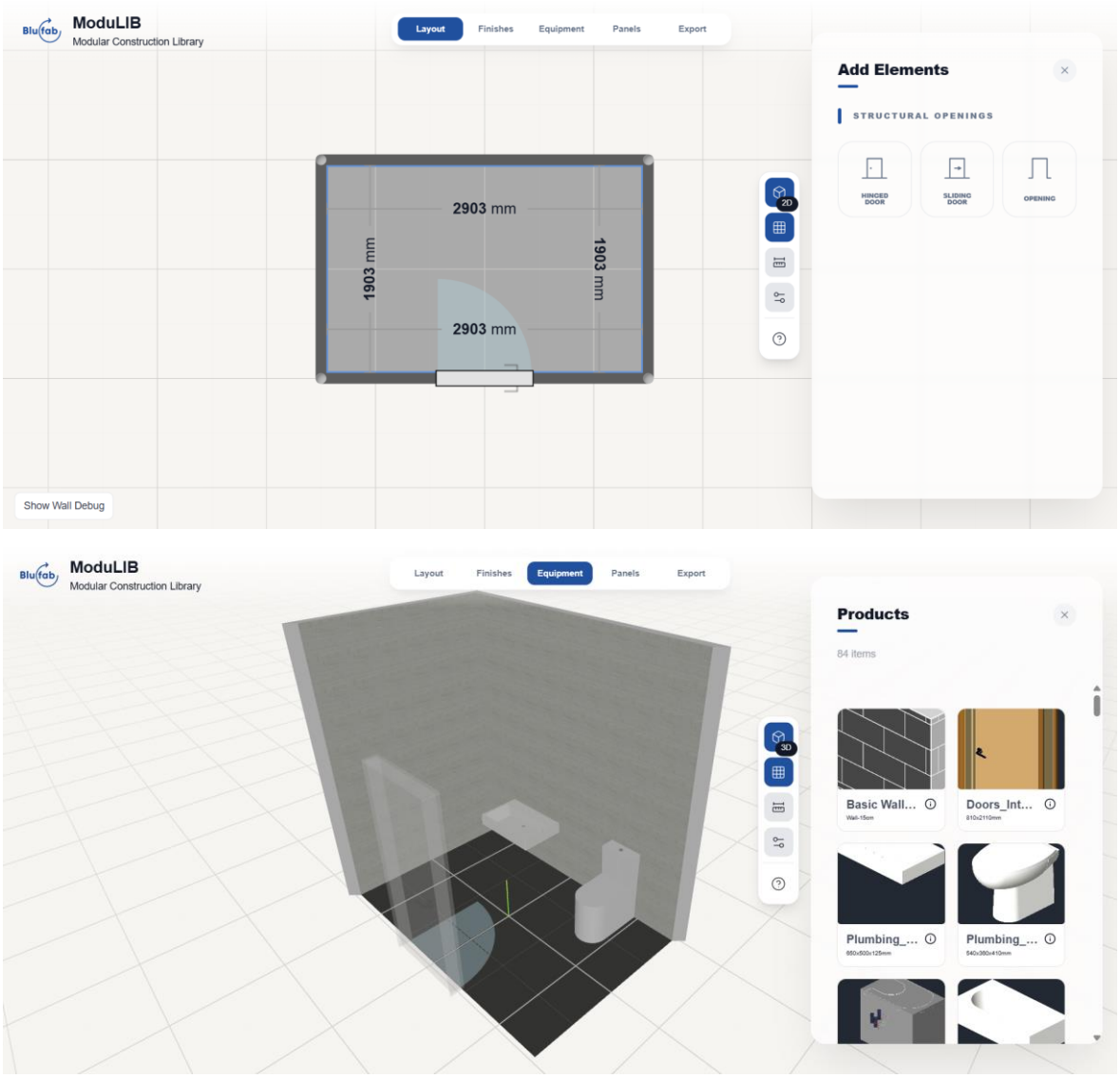


Figura 4: Interface gráfica do *Configurador Web*. Em cima: vista 2D; em baixo: vista 3D

A fase de *Panels* traduz a solução arquitetónica configurada num sistema construtivo modularizado e subdividido em painéis, através da definição de regras paramétricas de divisão e especificação dos painéis. Esta etapa assegura a correspondência entre o modelo digital e a lógica de produção industrial, permitindo a geração consistente dos elementos construtivos necessários à fabricação.

Finalmente, na fase *Export*, o *Pod* configurado pode ser exportado em diferentes formatos, incluindo modelos IFC compatíveis com ferramentas BIM, tabelas de quantidades em formato CSV e documentação 2D em formato PDF. Estes outputs permitem a reintegração do *Pod* em projetos BIM, bem como o suporte a processos de orçamentação e fabrico, assegurando a continuidade do fluxo *BIM-to-Fabrication*.

Este *workflow* evidencia a capacidade do *ModuLIB* em articular a modelação arquitetónica, a configuração modular e a preparação para produção industrial num processo integrado e interoperável. Ao permitir a configuração de *Pods* fora do ambiente BIM, mantendo a compatibilidade com ferramentas BIM, o sistema contribui para a flexibilização dos fluxos de trabalho e para a aproximação entre projeto, fabrico e execução.

5. Discussão e Conclusão

Este artigo apresenta o *ModuLIB* como uma solução integrada para responder a desafios existentes no desenvolvimento de arquitetura modular, estabelecendo uma ponte entre a modelação BIM e os processos de fabricação industrial. Através da articulação entre uma biblioteca de objetos BIM modulares, ferramentas de gestão *AdminTools* e um Configurador *Web*, o sistema proposto demonstra a viabilidade de uma abordagem integrada que suporta todo o ciclo de desenvolvimento modular, desde a conceção até à preparação para fabrico.

A solução proposta promove a transição de abordagens *Engineer-to-Order* para *Configure-to-Order*, ao definir um espaço de soluções configurável sustentado por objetos modulares predefinidos e disponibilizados na biblioteca, regras geométricas, construtivas e regulamentares. No processo tradicional, a definição de arquitectura modular implicava múltiplas iterações entre projetista e fabricante, com sucessivos ciclos de validação e reformulação. Com o Configurador *Web*, parte deste processo é internalizado no próprio sistema, reduzindo o *back-and-forth* e a necessidade de engenharia corretiva em fases posteriores, contribuindo para maior eficiência e alinhamento com princípios de industrialização.

Os principais contributos da solução residem na possibilidade de traduzir soluções arquitetónicas em sistemas construtivos modularizados e estruturados em painéis, bem como na democratização do acesso à modelação modular fora de ambientes BIM tradicionais. Ao tornar explícitas as regras de fabrico durante o processo de configuração, o sistema aumenta a transparência técnica para o arquiteto, permitindo que decisões de projeto sejam tomadas com plena consciência das implicações construtivas e industriais. Ao mesmo tempo, ao permitir a configuração fora do ambiente BIM, o sistema contribui para uma maior continuidade do fluxo de informação e a compatibilidade com fluxos *BIM-to-Fabrication*.

Atualmente, a fase de panelização do Configurador *Web* do *ModuLIB* baseia-se numa lógica paramétrica simplificada, na definição da posição de montantes e na subdivisão de painéis baseada na configuração do utilizador, e sem incorporar ainda um nível de detalhe construtivo associado a furações, ligações mecânicas ou necessidades das especialidades. Desenvolvimentos futuros deverão aprofundar o nível de detalhe técnico do modelo de panelização, aproximando-o ainda mais da realidade de fabrico, bem como incorporar estratégias de otimização orientadas para a repetição de painéis, normalização dimensional e redução de desperdício de material, reforçando a eficiência produtiva e a escalabilidade da solução.

Em síntese, o *ModuLIB* demonstra o potencial de uma abordagem híbrida, que combina ambientes BIM e plataformas *web*, para suportar a industrialização da construção e o desenvolvimento de arquitetura modular. Ao promover interoperabilidade, configuração baseada em regras e articulação entre projeto e fabrico, a solução contribui para práticas mais eficientes, consistentes e alinhadas com os princípios da industrialização da construção.

Agradecimentos

Este trabalho tem o cofinanciamento do PRR – Plano de Recuperação e Resiliência e União Europeia – www.recuperarportugal.gov.pt | PRR - Investimento RE-C05-i02: Missão Interface - CoLAB, contando também com a colaboração e o apoio do Grupo CASAIS.

Referências

[1] B. J. Pine, *Mass Customization: The New Frontier in Business Competition*. Boston, MA, EUA: Harvard Business School Press, 1993.
[2] F. T. Piller, "Mass customization: Reflections on the state of the concept," *International Journal of Flexible Manufacturing Systems*, vol. 16, no. 4, pp. 313–334, 2004.
[3] Hvam, N. H. Mortensen, and J. Riis, *Product Customization*. Berlin, Alemanha: Springer, 2008.
[4] A. Haug, L. Hvam, and N. H. Mortensen, "Definition and evaluation of product configurator development strategies," *Computers in Industry*, vol. 63, no. 5, pp. 471–481, 2012.

12345

TRANSIÇÃO DIGITAL NA CONSTRUÇÃO MODULAR EM MADEIRA

Pedro Santos, João Palma, António Aguiar Costa, Amílcar Arantes

ptBIM

TRANSIÇÃO DIGITAL NA CONSTRUÇÃO MODULAR EM MADEIRA

Pedro Santos [(1)], João Palma [(2)], António Aguiar Costa [(3)], Amílcar Arantes [(4)]

(1) Instituto Superior Técnico, Av. Rovisco Pais, Nº 1 1049-001 Lisboa, 0009-0007-4477-2124
(2) *CERIS* – Civil Engineering Research and Innovation for Sustainability, Av. Rovisco Pais, Nº 1 1049-001 Lisboa, 0000-0002-4837-5376
(3) *CERIS* – Civil Engineering Research and Innovation for Sustainability, Av. Rovisco Pais, Nº 1 1049-001 Lisboa, 0000-0002-5123-4451
(4) Instituto Superior Técnico, Av. Rovisco Pais, Nº 1 1049-001 Lisboa, 0000-0003-1207-5854

Resumo
A construção modular é um método construtivo que estrutura os elementos de uma infraestrutura em componentes pré-fabricados, produzidos num ambiente controlado e posteriormente transportados para o estaleiro de obra, onde são assemblados. Apesar de proporcionar maior controlo na execução dos produtos, a abordagem modular apresenta várias complexidades, como a gestão e a otimização dos processos em fábrica, a logística de transporte dos produtos e a variabilidade das peças a produzir.
A transição digital das empresas de construção modular e a implementação da metodologia Building Information Modelling (BIM) requerem, por isso, especial cuidado e uma adaptação específica a uma forma diferente de projetar e construir. O presente artigo apresenta a jornada de implementação do BIM numa empresa especializada na produção de soluções de construção modular em madeira. São identificados os principais desafios do processo construtivo industrial e os pontos críticos para a aplicação da metodologia BIM. Salientam-se como principais desafios: a baixa utilização de objetos estandardizados na indústria; os desafios de interoperabilidade entre projetos externos e os produtos; e, ainda, as dificuldades na normalização de processos de fabrico digital.
De forma a alcançar alguns destes objetivos, o artigo delineia ainda o processo de elaboração de um Guia Técnico BIM e as respetivas ferramentas de apoio, que estrutura normas e diretrizes de boas práticas BIM, adaptadas ao contexto da construção modular industrial em madeira.

1. Introdução

A transição digital de empresas de construção modular representa um desafio multifacetado, que requer a consideração das diferentes áreas envolventes do setor industrial, como a otimização de múltiplos processos, a gestão de inventário, o controlo da capacidade da fábrica e a gestão das linhas de fabrico e assemblagem. Esta digitalização permite, com o apoio de ferramentas digitais, atingir aumentos de 80% a 140% da capacidade produtiva das empresas após a otimização dos seus processos construtivos [1]. Adicionalmente, a utilização das

tecnologias relacionadas com a metodologia do Building Information Modelling (BIM), a qual visa garantir que cada projeto é elaborado num ambiente digital unificado em que os modelos BIM funcionam como fonte única de verdade, potencia um aumento da sustentabilidade industrial e da produtividade dos processos construtivos modulares quando utilizada para auxiliar a tomada de decisões ao longo do ciclo de vida dos ativos [2].
No entanto, a construção modular apresenta uma das menores taxas de digitalização dentro do setor industrial, com um reduzido desenvolvimento de ativos digitais, uma baixa utilização de ferramentas computacionais e baixos investimentos em tecnologia da informação [3]. A baixa adesão a ferramentas digitais não se limita apenas às tecnologias industriais. As linhas de produção e os gabinetes de projeto carecem de equipas com formação profissional em sistemas de coordenação digital e gestão integrada de dados, o que dificulta a integração de projetos protótipos bem-sucedidos para operações estáveis num ambiente empresarial [4]. Esta utilização limitada de sistemas digitais, em conjunto com a ausência de infraestruturas digitais adequadas, condiciona a eficiência das tecnologias de BIM em projetos construtivos industriais [5].
Outro desafio da integração e sistematização de processos digitais na construção modular é a variabilidade e customização do produto final de acordo com a expectativa do cliente, resultando num modelo de negócio business-to-consumer (B2C). Estas personalizações de produtos implicam uma menor repetição produtiva, a qual causa um atraso dos tempos médios de desenvolvimento por projeto e uma falta de sincronização entre o desenvolvimento de projeto, a faturação do produto e o seu transporte. Estes fatores dificultam a obtenção de níveis de produção num padrão industrializado eficiente [6].
A implementação da metodologia BIM no setor da construção modular serve, entre outras utilidades, como ferramenta estruturante para harmonizar processos e gerir a heterogeneidade dos projetos, permitindo otimizar os fluxos de informação tanto para produtos estandardizados da fábrica como para modelos customizados em contexto B2C. Um primeiro passo para a integração do BIM no contexto empresarial foi a elaboração de um Guia Técnico BIM, de forma a munir todos os intervenientes do setor com a informação necessária para contribuírem para processos construtivos digitalizados suportados por modelos de informação. De seguida, foi criado um *plugin* BIM para gestão de modelos BIM munidos de informação parametrizada, de forma a incentivar o uso de objetos estandardizados em B2C e assegurar a compatibilidade entre modelação e fabrico. Por último, foi desenvolvida uma *landing page* para um Guia Técnico interativo, de forma a simplificar a disseminação de informação BIM entre todos os colaboradores do setor industrial. A implementação destas três ferramentas materializa um *framework* para a introdução da metodologia BIM como potencializador da transição digital na construção modular em madeira.

2. Guia Técnico BIM

2.1. Enquadramento e objetivos do Guia Técnico BIM

Para possibilitar a transição digital na indústria da construção modular é necessário que todos os seus colaboradores, sejam estes projetistas, construtores, clientes ou fornecedores, tenham a informação e as ferramentas necessárias para apoiar o processo de fabrico e assemblagem construtiva. Para o efeito, foi elaborado um Guia Técnico BIM, adaptado ao caso de estudo de uma empresa de construção modular em madeira em Portugal, a Kozowood Industries, S.A.

Este documento define as diretrizes, os procedimentos e os requisitos aplicáveis à implementação da metodologia BIM em todas as fases dos projetos desenvolvidos pela empresa, utilizando o BIM como elemento de otimização do fluxo de informação entre projetos com diferentes graus de customização, independentemente dos atores responsáveis.
Pretende-se com a elaboração deste documento que o mesmo seja utilizado como referência em todos os projetos BIM em que a empresa colabore, e que a implementação das suas diretrizes promova a estandardização dos seus processos. O aumento dos níveis de estandardização representa uma maior eficiência no processamento dos modelos, na rastreabilidade dos materiais utilizados e ainda a conformidade com as normas internacionais de gestão de dados e de modelação digital [7].
Este documento não foi elaborado com o intuito de apresentar um caráter estático, pelo contrário, o guia deverá ser um instrumento dinâmico, sujeito a revisão periódica, de modo a acompanhar a evolução das tecnologias de modelação e as respetivas normas.

2.2. Enquadramento normativo

O Guia Técnico foi concebido com o intuito de tornar as tecnologias BIM mais acessíveis a entidades com conhecimento limitado das mesmas. Para o efeito, as suas diretrizes foram desenvolvidas baseadas em fontes de caráter normativo. As práticas de gestão de informação referentes ao ciclo de vida do ativo foram elaboradas de acordo com a série EN ISO 19650 – "Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) — Information management using building information modelling" [9]. Esta série define os princípios e requisitos para a organização da informação em processos BIM, a definição de papéis e responsabilidades dos intervenientes, os requisitos de informação do cliente e ainda os processos de verificação e aprovação dos modelos entregues no Common Data Environment (CDE). A estrutura do CDE proposto no Guia Técnico foi desenvolvida em conformidade com a norma, de forma a garantir que todos os atores do setor partilhem um referencial de gestão de informação internacionalmente estandardizado que não é dependente da natureza do projeto.
A nível dos requisitos de informação, o guia baseia-se no conceito de Nível de Informação Necessária (LOIN), conforme definido na EN ISO 7817 - 1– *Building information modelling — Level of information needPart 1: Concepts and principles* [10]. A norma estabelece que o conteúdo de um modelo BIM não deve ser definido apenas em termos de detalhe geométrico, mas através da combinação de componentes geométricas, alfanuméricas e documentais adequadas a cada fase construtiva BIM (coordenação, planeamento, orçamentação, fabrico, operação) e uso do modelo. A aplicação do LOIN no Guia Técnico define o nível de informação mínima que deve estar presente nos modelos, tanto para evitar a produção de modelos excessivamente pesados como também a entrega de modelos sem informação suficiente para suportar decisões críticas ao longo do ciclo de vida do ativo [7].

2.3. Organização geral e lógica interna do documento

A estrutura do Guia Técnico BIM foi definida de forma a auxiliar na compreensão do papel da metodologia BIM ao longo do ciclo de vida do ativo, desde as reuniões *kick-off* de preparação do projeto, com a definição dos respetivos usos BIM, até à fase de demolição do ativo. Desta forma, o documento foi dividido nos seguintes capítulos: **1)** Introdução; **2)** Conceitos fundamentais (BIM); **3)** Integração BIM e Usos BIM; **4)** Plano de Execução BIM (BIM Execution Plan – BEP); **5)** Estrutura de Informação BIM; **6)** Normas e requisitos de Informação.

1) A introdução estabelece quais os objetivos da transição digital da empresa e o papel da metodologia BIM neste processo. São estabelecidas ainda as normas que servem de diretrizes para o tratamento de informação e os respetivos procedimentos ao longo do Guia Técnico.
2) O segundo capítulo tem como função a criação de fundamentos teóricos para todos os colaboradores que sejam inexperientes com o conceito de BIM. A sua elaboração consiste na agregação de conceitos fundamentais para a aplicação da metodologia, como a definição de modelos de informação e os seus níveis de detalhe (Level of Information Need - LOIN); o conceito de Usos BIM e a sua aplicabilidade no setor da construção modular; e a definição de conceitos fundamentais para definição de um Plano de Execução BIM (BIM Execution Plan – BEP), como os objetivos, *targets*, e atividades;
3) Após a fundamentação dos conceitos essenciais para a aplicação da metodologia BIM, inicia-se a sua implementação na fase de pré-projeto. É introduzido o conceito de um gestor BIM intermediário, responsável pela gestão dos usos BIM definidos ao início do projeto, da coordenação de uma reunião de *kick-off* e também por assegurar a coordenação de equipas interdisciplinares no ecossistema de informação, ou common data environment (CDE).
Na reunião *kick-off* é também definido o plano de implementação dos usos BIM no processo construtivo industrial, conforme a Figura 1, desde a sessão de arranque até aos processos de manutenção e operação do ativo. Durante a elaboração do planeamento, devem ser identificadas todas as restrições que necessitam de ser mitigadas para alcançar os objetivos do projeto. Qualquer restrição que possa ser eliminada ou atenuada através dos usos BIM deve ser registada no BEP, juntamente com a estratégia associada. Estas restrições podem ser resolvidas utilizando processos de tomada de decisão estruturada, ou tratadas no decurso das reuniões regulares de progresso, assegurando rastreabilidade e responsabilidades dos intervenientes.

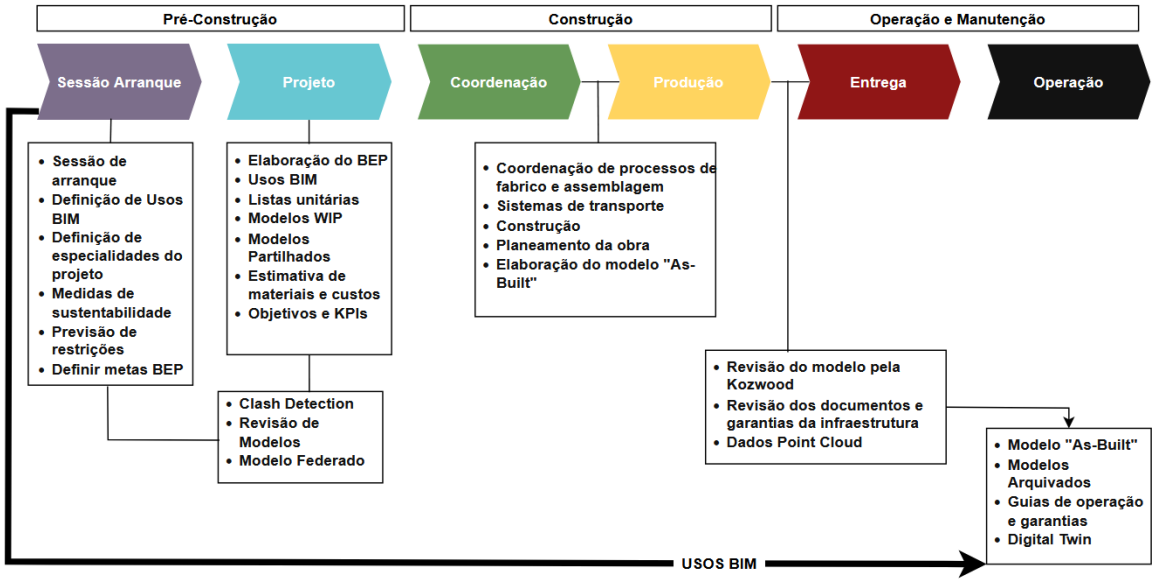


Figura 1: Planeamento de usos BIM ao longo do processo construtivo modular para a empresa de caso de estudo – Kozowood Industries, S.A.

4) O quarto capítulo define, de forma geral, quais as responsabilidades de cada interveniente no modelo colaborativo, constituindo outra dimensão central do guia. A empresa de construção modular desempenha o papel de entidade coordenadora BIM, responsável pela gestão do CDE,

pela criação de modelos federados e pela verificação da qualidade e compatibilidade dos entregáveis.
O dono de obra, as equipas projetistas, o construtor e os fornecedores têm de igual forma responsabilidades ao longo do ciclo de vida do ativo. As equipas de projeto assumem, de forma generalizada, a elaboração de modelos de especialidade, de acordo com os usos BIM estabelecidos e a parametrização estabelecida no documento de Requisitos para Troca de Informações (Exchange Information Requirements – EIR). O construtor tem a responsabilidade de transformar o modelo digital em modelo físico, e da elaboração do modelo *digital twin* de forma a permitir a utilização da informação parametrizada na fase de operação e manutenção do ativo; os fornecedores também têm responsabilidades em processos de fabrico BIM, sendo a sua função a disponibilização de informação paramétrica relativa aos seus produtos, permitindo a rastreabilidade dos materiais utilizados.
5) Após a definição dos usos BIM e da estruturação do BEP, é necessário desenvolver a infraestrutura digital utilizada nos processos da empresa. O ecossistema utilizado para o CDE é definido, bem como o *software* principal utilizado para a modelação de objetos. De seguida, é definida a estrutura de pastas no EIR, nomeadamente as pastas para trabalhos em curso (*WIP*), partilha (*shared*), emissão (*published)* e arquivo (*archived*). Por fim, são abordados os temas de coordenação de modelos, como os processos para a emissão de relatórios de deteção de conflitos, a gestão de certificados de sustentabilidade ambiental e os formatos de entrega de modelos (nativos, em formato aberto e documentação auxiliar).
6) O sexto capítulo apresenta, de forma geral, as normas e requisitos de informação internos definidos no documento EIR. No entanto, para cada projeto deverá ser ajustado um EIR, que tem como função estabelecer as regras relativas à elaboração de modelos de informação BIM, a sua nomenclatura e organização. São ainda definidos os requisitos relativos aos desenhos do modelo (layouts, escalas, formatação, identificação de ficheiros), a documentação necessária e os critérios para extração de listas unitárias a partir dos modelos.
São ainda definidos os critérios para verificar a qualidade dos modelos entregues, organizados em quatro dimensões: *object standard check*, que garante a correta denominação dos objetos de acordo com o estabelecido no EIR, a correta organização dos ficheiros nas pastas do CDE e a colorização dos objetos de acordo com as respetivas especialidades; *content checks,* os quais verificam o grau de completude do modelo de acordo com os LOIN definidos no Guia Técnico e no BEP e a qualidade da informação paramétrica; *workability check* analisa o estado do modelo (purgado / não purgado) e a sua respetiva otimização; *interdisciplinar model check,* que utiliza a função de *clash detection* de software BIM no modelo para a deteção de possíveis interseções entre modelos de especialidades; e por fim *object control check,* no qual são verificadas as orientações dos modelos e a sua localização georreferenciada.
Caso não sejam encontradas interferências com os checks delimitados, o modelo encontra-se pronto para exportar para o *Cadworks*, de forma a ser preparado para a fase de produção.

3. Plataforma digital para disponibilização de informação crítica por perfil

A plataforma digital desenvolvida não tem como objetivo substituir o Guia Técnico BIM ou o Ambiente Comum de Dados, mas funcionar como camada de acesso à informação BIM, organizada por perfis de utilizador, de forma a facilitar a utilização consistente da metodologia BIM por todos os atores da construção modular.

Esta disposição de informação implica que todos os intervenientes terão de percorrer o guia na sua totalidade para ter conhecimento das suas funções. Em muitos casos, as tentativas de implementação de ferramentas BIM falham não apenas por falta de capacidade tecnológica, mas sim devido à ausência de adaptação das mesmas às rotinas específicas e às competências de cada grupo de utilizadores [8] [9]. Para o bom funcionamento de cada uma das partes envolvidas no processo construtivo, a informação necessita de ser facilmente acessível e personalizada para cada um dos intervenientes.
Para o efeito, foi desenvolvida uma terceira ferramenta BIM, um Guia Técnico interativo, na forma de *landing page*, conforme a Figura 2. Cada interveniente terá acesso a uma página customizada, com as informações necessárias para exercer as suas responsabilidades no processo construtivo digital. A título de exemplo, um projetista que aceda à sua respetiva página terá acesso a uma interface personalizada, com acesso direto a documentos relevantes à sua função, como o BEP, o plugin Revit BIM e o EIR. Cada perfil disponibiliza também uma secção de perguntas frequentes (*FAQ*) de forma a esclarecer as dúvidas dos colaboradores.



Figura 2: Interface do guia técnico interativo.

Para além de facilitar o acesso à documentação, a plataforma foi concebida para apoiar a coordenação e o ciclo de feedback em torno do modelo BIM. Ao coordenar o acesso ao conteúdo do guia, aos modelos e aos documentos operacionais, aos relatórios de deteção de conflitos e às listas de não conformidades geradas na fábrica, a plataforma permite que as equipas acompanhem a evolução da coordenação com base no modelo de informação e não apenas em trocas de informação *peer-to-peer* isoladas.

4. Plugin BIM Kōzōwood

Em conjunto com o Guia Técnico BIM, foi também desenvolvido um plugin BIM para a empresa com o intuito de promover a utilização das peças estandardizadas para projetos B2C. De forma a abranger o maior número de projetistas e clientes possível, o plugin foi criado como um *Add-on* para o Autodesk Revit, devido à popularidade do software enquanto ferramenta de elaboração de projetos de arquitetura. Esta integração do plugin no software de modelação, munido da parametrização de acordo com as diretrizes definidas no Guia Técnico, permite que o BIM seja efetivamente utilizado como base comum entre o projeto e o fabrico.
O plugin atua, em primeiro lugar, como repositório dos objetos estandardizados da empresa, munido da correta nomenclatura de projeto, da informação paramétrica necessária ao fabrico e das dimensões estandardizadas de acordo com as limitações da maquinaria. Através do plugin, os projetistas podem importar modelos de componentes estruturais em madeira, como paredes e pisos modulares, portas, janelas, revestimentos, componentes de instalações adaptados ao sistema modular, bem como objetos auxiliares e simbologia específica. A biblioteca está organizada por categorias e segue uma nomenclatura e categorização uniformizadas, de forma a garantir alinhamento com o processo de fabrico, conforme a Figura 3.

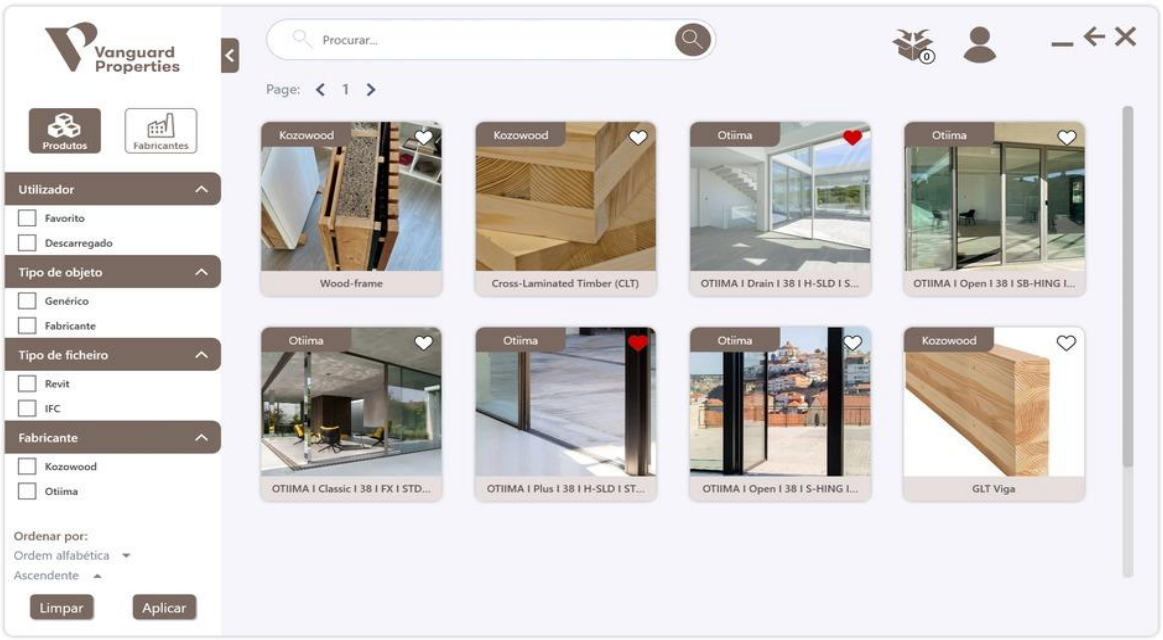


Figura 3: Interface da biblioteca de objetos do *plugin* BIM Revit.

Os elementos utilizados nos projetos BIM devem ter, sempre que possível, origem na biblioteca acedida pelo plugin; em caso de modelos customizados, os elementos devem ser parametrizados recorrendo à segunda ferramenta do plugin. Adicionalmente, o *plugin* permite suportar diferentes níveis de utilização, face ao grau da estandardização dos projetos. Em projetos com elevado grau de repetição, possibilita a rápida modelação através da utilização de componentes pré-definidos, alinhados com as restrições de fabrico da empresa. Por outro lado, em contextos de elevada customização, como projetos B2C, as ferramentas de parametrização garantem que os elementos modelados, apesar de adaptados às necessidades específicas do cliente,

permanecem compatíveis com os processos de fabrico. Conforme a Figura 4, é possível atribuir às famílias de estruturas do Revit (colunas, pilares, paredes) diferentes grupos de propriedades parametrizadas e ainda escolher quais as suas dimensões, sendo estas sempre limitadas pela capacidade máxima da linha de produção. Esta medida assegura que, apesar de serem customizados, os modelos estão munidos com a informação paramétrica necessária para a sua importação para o software Cadworks, o qual dá seguimento dos elementos para a linha de produção.

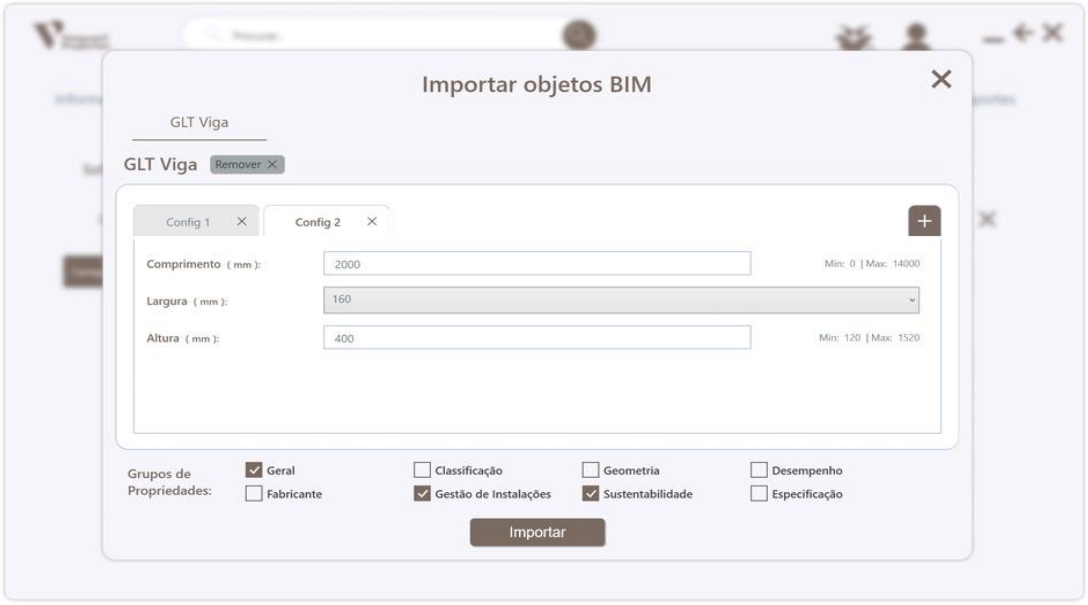


Figura 4: Importação de informação parametrizada para as diferentes famílias de estruturas Revit.

Com o apoio das suas funcionalidades o plugin BIM ajuda a controlar a variabilidade dos projetos B2C no contexto da construção industrial. A biblioteca de objetos incentiva a utilização de componentes estandardizados sempre que possível e, por sua vez, a parametrização da informação de elementos customizados garante que os mesmos encontram-se desenvolvidos de acordo com as diretrizes da empresa. Desta forma, a implementação de BIM, suportado pelo plugin, permite tratar empreendimentos diferentes com o mesmo enquadramento de informação, compatibilizando a relação entre projetos customizados e a sua produção.

5. Implementação do framework BIM

O *framework* proposto encontra-se em fase de integração para o caso de estudo de uma empresa de construção modular em madeira, com foco de auxiliar o processamento de informação entre as fases de projeto e produção. A introdução de objetos BIM estandardizados, juntamente com requisitos de informação estruturados, permitiu melhorar a consistência dos modelos desenvolvidos e reduzir a necessidade de ajustes manuais antes da fase de fabrico. Adicionalmente, a utilização do plugin BIM serviu de elemento de apoio para a uniformização dos elementos modelados, ao promover a reutilização de objetos federados e devidamente parametrizados para novos processos construtivos.

Numa primeira tentativa de aplicação do *framework*, em projeto piloto, verifica-se uma melhoria no desempenho das fases de projeto, com uma redução do tempo de preparação dos elementos para a fase de fabrico entre os 20 e 25%. Estes resultados preliminares indicam o potencial da abordagem proposta para aumentar a eficiência dos processos e reduzir erros de comunicação, ainda que uma avaliação quantitativa mais detalhada se encontre em desenvolvimento.
No entanto, a implementação do *framework* apresenta desafios significativos no setor da construção modular, nomeadamente o investimento inicial em infraestruturas digitais, a curva de aprendizagem associada à adoção de novas ferramentas, e a resistência à mudança por parte dos utilizadores. Adicionalmente, a adaptação de processos estandardizados a projetos de elevada variabilidade, como projetos B2C predominantes no setor da construção, exige um equilíbrio entre flexibilidade e eficiência. Estes desafios poderão ser fatores limitantes para a transição digital de empresas com recursos reduzidos, sem capacidade de resposta aos requisitos para implementação destas tecnologias.

6. Conclusão

A transição digital na construção modular enfrenta desafios ligados à baixa maturidade digital do setor, à variabilidade dos produtos em contexto B2C e à dificuldade de integração de novas tecnologias de projeto, fabrico e montagem num só fluxo de informação. A metodologia BIM surge como a principal inovação a integrar no processo construtivo modular, ao propor que a informação seja estruturada num modelo digital único, capaz de suportar simultaneamente a coordenação de projeto, a preparação para fabrico e a gestão do ativo. A adoção do BIM permite, assim, tratar projetos heterogéneos num framework comum, reduzindo a fragmentação de dados e os gastos de tempo para a compatibilização de informação.
A implementação de tecnologias BIM é apoiada pelo Guia Técnico BIM, o qual estabelece as diretrizes e normas de parametrização da informação, define responsabilidades de cada interveniente através do BEP, e normaliza os processos construtivos ao longo do ciclo de vida dos ativos. Ao alinhar e estandardizar estes processos, o guia reduz a variabilidade nos procedimentos, facilita a integração de novos atores na construção modular e cria condições para que os modelos BIM sejam operacionais não apenas em fase de projeto, mas também na produção, montagem e operação.
A *landing page* do guia técnico BIM interativo disponibiliza a informação essencial a cada interveniente através de perfis de utilizador. Ao gerir o acesso ao guia, ao BEP, ao plugin BIM e aos restantes documentos mediante o perfil de cada utilizador, a plataforma diminui a barreira de entrada para colaboradores com experiência limitada em novas tecnologias, otimiza os canais de disseminação de informação relevante e contribui para uma melhor compreensão das responsabilidades BIM dos intervenientes. Adicionalmente, os dados dos utilizadores da plataforma possibilitam ciclos de melhoria contínua, permitindo identificar lacunas de formação e as secções do guia que carecem de clarificação.
O plugin BIM Kōzōwood serve de incentivo ao uso de objetos estandardizados ao disponibilizar a importação dos modelos da empresa diretamente para o ficheiro de projeto. A biblioteca de objetos BIM, juntamente com os mecanismos de importação de informação parametrizada, permitem atenuar as customizações exigidas pelo modelo B2C. Esta abordagem traduz-se ainda

numa redução dos erros de projeto, do tempo gasto em customização de objetos e dos custos de fabrico.
A combinação destas três ferramentas permite uma boa integração da metodologia BIM dentro do setor de construção industrial, munido de um CDE que permite a horizontalidade da distribuição de informação dos processos. Ao invés de tratar a digitalização como mera aquisição de software, a abordagem descrita integra normas, processos, objetos digitais e canais de comunicação orientados a perfis, respondendo de forma direta a problemas reconhecidos na literatura, como a fragmentação de dados, a falta de repetição produtiva e os gargalos de engenharia em contextos B2C. Esta metodologia poderá ser adaptada a outras empresas de construção modular, constituindo um passo integral na potencialização das tecnologias BIM e a sua transformação em melhorias concretas para o planeamento de processos, a produtividade industrial e qualidade de produtos.

Referências

[1] Silvia Wilk Stival, Tiago Santos Almeida, Mariana de Oliveira Santos, e M. N. Fonseca, "Otimização da capacidade produtiva em construção modular: abordagem de modelagem e simulação computacional," *Observatorio de La Economía Latinoamericana*, 2024.
[2] Kaio Pimentel Rego de Oliveira, Nicolas Watanabe Tsu Wan Kwok, E. Muianga, e A. Granja, "Estratégias de produção para plataformas de produto na construção integrada modular," *Simpósio Brasileiro de Gestão e Economia da Construção*, 2025.
[3] Cayami Schultz Chiovitti Cavalcante, "Indústria 4.0 na pré-fabricação: modelo de maturidade e quadro atual de desenvolvimento tecnológico de fabricantes da construção industrializada.", 2023.
[4] Gustavo Silva de Carvalho Serra, F. Cardoso, e L. Cardoso, "Cadeia produtiva da construção modular e seus processos logísticos," *Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído*, 2024.
[5] Danielle Stéphanny Pereira de Alcântara, Nathalia Rangel Dantas, Caio Fontes Cruz, e Reymard Sávio Sampaio de Melo, "Desafio Protótipo," *Encontro Nacional sobre o Ensino de BIM*, 2022.
[6] Bruna Liliane Brenner e D. Viana, "Desafios envolvidos na construção offsite de casas," *Simpósio Brasileiro de Gestão e Economia da Construção*, 2025.
[7] Marco António Rodrigues Gonçalves e F. Corrêa, "Inovação no fluxo tradicional de produção de elementos pré-fabricados em Light Steel Framing com BIM," *II Simpósio Brasileiro de Tecnologia da Informação e Comunicação na Construção*, 2019.
[8] Liza Bruna Reis Monteiro e J. C. Paliari, "Os desafios da industrialização da construção civil no contexto brasileiro," *Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído*, 2024.
[9] ISO 19650-1: Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) — Information management using building information modelling.
[10] ISO 7817-1: Building Information Modelling – Information requirements and level of information need.

12345

MODELAÇÃO DE ARMADURAS DE BETÃO ARMADO E GERAÇÃO DE BAR BENDING SCHEDULES PARA PRÉ-FABRICAÇÃO EM AMBIENTE BIM

Bernardino Lima, António Mateus, Joana Teixeira

ptBIM

MODELAÇÃO DE ARMADURAS DE BETÃO ARMADO E GERAÇÃO DE BAR BENDING SCHEDULES PARA PRÉ-FABRICAÇÃO EM AMBIENTE BIM

Bernardino Lima [(1)], António Mateus [(2)], Joana Teixeira [(3)]

(1) TECHONIS Lda., Porto, [0009-0003-2787-375X]
(2) TECHONIS Lda., Porto, [0009-0004-6728-5749]
(3) TECHONIS Lda., Porto, [0009-0008-0181-2461]

Resumo
A modelação tridimensional de armaduras em estruturas de betão armado permanece, em muitos contextos, dependente de processos 2D, com impacto direto na fiabilidade de quantidades, na verificação de colisões e na viabilidade construtiva em zonas densamente armadas. Este trabalho apresenta a metodologia desenvolvida na TECHONIS para detalhe de armaduras em ambiente BIM, suportada por interoperabilidade com modelos estruturais geométricos exportados em IFC e subsequentemente detalhados em TEKLA Structures. O fluxo de trabalho inicia-se na modelação BIM da geometria estrutural, seguida da modelação paramétrica de armaduras por tipologia estrutural (lajes, vigas, pilares e fundações). Em fase de detalhe são realizados controlos tridimensionais de colisões entre armaduras e negativos, bem como validações de espaçamentos regulamentares. A partir do modelo final são extraídas Bar Bending Schedules, listagens de armaduras segundo a British Standard e documentação orientada à pré-fabricação, assegurando rastreabilidade entre projeto, produção e montagem. O estudo discute os ganhos práticos observados, nomeadamente a redução de revisões em obra, a melhoria na comunicação com equipas de produção e a maior previsibilidade na montagem, bem como limitações encontradas na interoperabilidade e estratégias adotadas para as mitigar. Conclui-se que a modelação de armaduras em BIM permite estabelecer uma ligação direta entre o modelo estrutural, o detalhe de armaduras e os processos de fabrico e montagem em obra, constituindo uma solução robusta para detalhe estrutural orientado à produção.

1. Introdução

Nas últimas décadas, a adoção crescente de metodologia Building Information Modelling (BIM) na engenharia de estruturas tem contribuído para melhorar a coordenação interdisciplinar, a consistência da informação geométrica e a produção de documentação técnica [5]. No entanto, o detalhe de armaduras de betão armado continua, em muitos contextos,

a ser desenvolvido com base em processos bidimensionais [6], frequentemente dissociados de modelos tridimensionais completos da estrutura.
A modelação tridimensional de armaduras introduz desafios específicos associados à representação geométrica das barras, às regras de dobragem, à verificação de espaçamentos e à compatibilização entre diferentes elementos estruturais. Quando integrada em fluxos de trabalho orientados à produção, esta abordagem permite antecipar problemas de viabilidade construtiva e estabelecer uma ligação mais direta entre o projeto de estruturas, a preparação de obra e os processos de fabrico de armaduras.
O presente artigo apresenta a experiência da TECHONIS na aplicação de processos de modelação tridimensional de armaduras em ambiente BIM, desenvolvidos no contexto de projetos estruturais executados segundo regulamentação britânica. A partir de casos reais são discutidos os principais desafios encontrados, bem como os benefícios e limitações associados à utilização deste tipo de abordagem no detalhe estrutural.

2. Enquadramento Técnico e Normativo

Na engenharia de estruturas, o detalhe de armaduras constitui uma etapa fundamental para a transposição do projeto de estruturas para a execução em obra. Para além da definição geométrica dos elementos estruturais, o processo de detalhamento envolve a definição das características das barras, regras de dobragem, comprimentos de ancoragem e de sobreposição, bem como a organização da informação necessária para fabrico e montagem em obra.
Em vários contextos internacionais, nomeadamente no Reino Unido, Alemanha ou Brasil, é prática corrente a produção de Bar Bending Schedules (BBS) como parte integrante da documentação de projeto. Estas listagens permitem identificar individualmente cada barra de armadura, incluindo dimensões, forma de dobragem, quantidade e elemento estrutural associado [1]. A normalização destes processos é frequentemente suportada por normas específicas de fabrico e dobragem de armaduras, como a BS 8666 [2], amplamente utilizada em projetos desenvolvidos segundo regulamentação britânica.
Tradicionalmente, o detalhe de armaduras tem sido desenvolvido com base em desenhos bidimensionais, complementados por listagens de barras destinadas ao fabrico [3]. No entanto, o desenvolvimento de ferramentas de modelação tridimensional tem permitido integrar o detalhe de armaduras diretamente em modelos digitais da estrutura, possibilitando uma ligação mais direta entre o projeto, a preparação de obra e os processos de fabrico.
A modelação tridimensional de armaduras permite representar explicitamente a geometria das barras e a sua interação espacial dentro dos elementos estruturais, facilitando a verificação de espaçamentos mínimos, a análise de zonas de elevada densidade de armadura e a compatibilização entre diferentes elementos estruturais. Quando utilizada em contextos orientados à produção, esta abordagem contribui para melhorar a consistência da informação entre modelo, desenhos e listagens de fabrico.
Nos projetos analisados não existia um EIR/OIR ou BEP imposto pelo dono de obra. O processo BIM foi definido internamente pela equipa, com requisitos práticos orientados à produção e montagem, assegurando a informação necessária para a modelação das armaduras, geração de BBS e preparação de obra.

3. Metodologia de Modelação de Armaduras em Ambiente BIM

3.1. Fluxo de Trabalho de Modelação BIM

O processo de modelação de armaduras desenvolvido baseia-se na separação entre o modelo estrutural geométrico e o modelo dedicado ao detalhe de armaduras. Esta abordagem permite manter a estabilidade do processo de detalhamento e facilitar a gestão de alterações ao longo do desenvolvimento do projeto. A Figura 1 sintetiza o fluxo de trabalho adotado, desde o modelo estrutural BIM até à geração de BBS para fabrico.

Numa primeira fase é desenvolvido o modelo tridimensional da estrutura em ambiente BIM, contendo a geometria dos elementos estruturais principais. Esta informação é posteriormente transferida para o ambiente de modelação de armaduras através da exportação de um modelo em formato IFC [4,7], que serve de base para o desenvolvimento do modelo específico de armaduras.

O modelo de armaduras é então desenvolvido de forma independente, utilizando a geometria estrutural como referência para o posicionamento e definição das barras. Sempre que ocorrem alterações relevantes na geometria da estrutura, o modelo de referência pode ser atualizado, permitindo manter a coerência geométrica entre o modelo estrutural e o modelo de armaduras. Esta separação entre modelos permite reduzir interferências entre diferentes fases de trabalho e facilita a gestão do processo de detalhamento, garantindo simultaneamente uma ligação direta entre a geometria estrutural, o modelo de armaduras e a documentação produzida para fabrico.

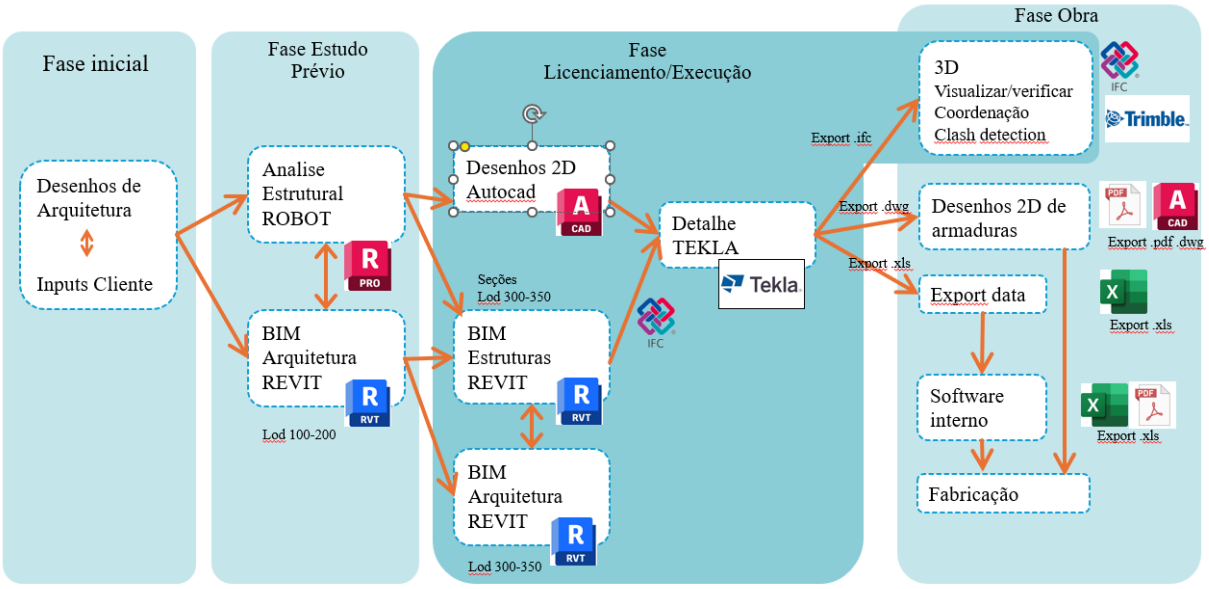


Figura 1 - Esquema do workflow global: Modelo estrutural BIM → IFC → Modelação de armaduras → BBS → Pré-fabricação

3.2. Modelação Orientada à Produção

A modelação de armaduras foi desenvolvida com uma abordagem orientada à produção, na qual cada varão é representado no modelo tridimensional com a sua geometria real de dobragem e posicionamento final na estrutura (Figura 2). Esta abordagem permite que o modelo não

represente apenas a intenção de projeto, mas constitua também um suporte direto à preparação de obra e aos processos de fabrico de armaduras.
Durante a modelação são consideradas explicitamente as regras geométricas associadas ao detalhe de armaduras, incluindo comprimentos de ancoragem, zonas de sobreposição, empalmes entre elementos estruturais e continuidade vertical das armaduras entre pisos. Em elementos como pilares, por exemplo, a modelação inclui desde início as zonas de transição necessárias para garantir a ligação com as armaduras do piso superior.
A representação tridimensional das barras permite ainda avaliar a viabilidade construtiva das soluções adotadas, particularmente em zonas onde diferentes elementos estruturais convergem e onde a densidade de armadura pode dificultar a montagem ou a betonagem.

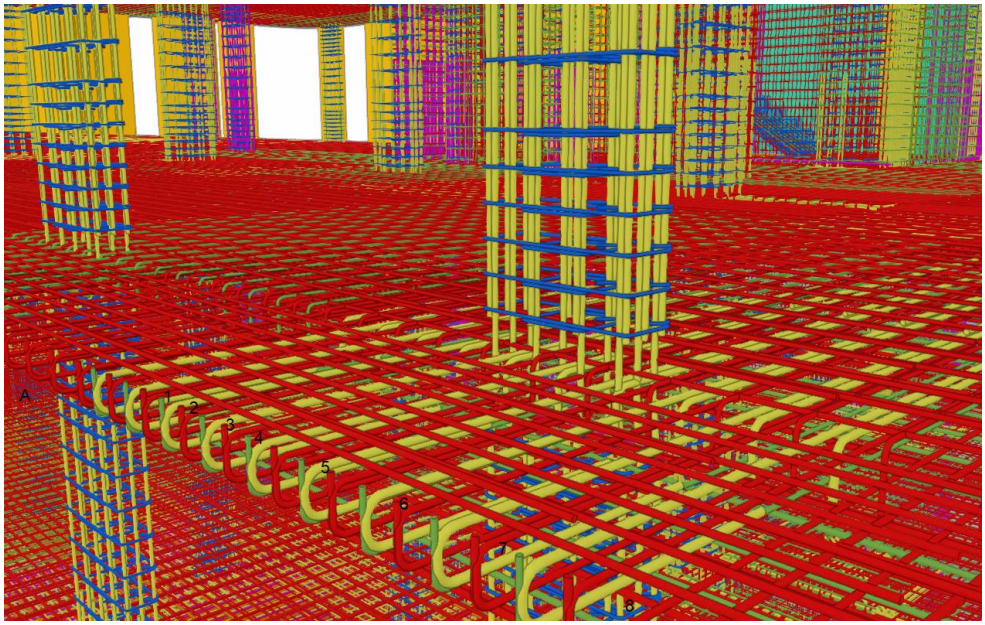


Figura 2 - Exemplo de modelação tridimensional de armaduras num elemento estrutural

3.3. Problemas Identificados Durante a Modelação

Durante o desenvolvimento dos modelos de armaduras foram identificados diversos tipos de situações em que a representação tridimensional permitiu evidenciar dificuldades de execução que dificilmente seriam detetadas através de desenhos bidimensionais.
Um dos casos mais frequentes corresponde a zonas de elevada densidade de armadura, particularmente em regiões de ligação entre elementos estruturais ou em zonas de descontinuidade geométrica. Nestes contextos, a disposição inicial das barras, embora compatível com os requisitos de dimensionamento estrutural, revelava-se por vezes impraticável do ponto de vista da montagem ou da betonagem. A visualização tridimensional permitiu avaliar a viabilidade construtiva destas zonas e testar diferentes alternativas de disposição das armaduras, incluindo redistribuição de varões, ajustes de espaçamentos ou alterações pontuais de diâmetros.
Foram também identificadas situações em que a geometria das barras exigia formas de dobragem não convencionais, frequentemente associadas a shape codes especiais definidos segundo a regulamentação aplicável. Nestes casos, a modelação tridimensional permitiu validar

a geometria das barras antes da emissão das listagens de fabrico, reduzindo a probabilidade de erros durante o processo de dobragem.
Outro aspeto observado durante o processo de modelação relaciona-se com a fragmentação excessiva da codificação das armaduras em determinados elementos estruturais, nomeadamente em lajes com elevada densidade de varões. A geração de um número elevado de códigos distintos pode dificultar a gestão das listagens de fabrico e aumentar a complexidade do processo de produção e posterior instalação em obra. A análise do modelo tridimensional permitiu identificar estas situações e promover uma racionalização da codificação das armaduras sempre que tal era compatível com os requisitos estruturais.

3.4. Ajustes ao Processo de Revisão

A experiência acumulada ao longo dos primeiros trabalhos permitiu identificar a necessidade de ajustar o processo interno de verificação do modelo de armaduras.
Inicialmente, a revisão da informação era realizada sobretudo na fase final do processo de detalhamento, no momento de emissão das Bar Bending Schedules e da documentação associada. No entanto, verificou-se que este procedimento podia conduzir à identificação tardia de inconsistências ou dificuldades geométricas, implicando revisões extensas numa fase avançada do trabalho.
Com base nesta experiência, passou a ser adotado um processo de verificação progressiva do modelo. Para além da revisão final associada à emissão das listagens de fabrico, foram introduzidas análises intermédias ao modelo tridimensional, permitindo validar antecipadamente a coerência da modelação e a compatibilidade entre diferentes elementos estruturais.
Estas verificações incluíam igualmente exportações preliminares de desenhos a partir do modelo, permitindo avaliar a legibilidade da informação e detetar eventuais problemas de codificação ou organização das armaduras antes da numeração final das barras. Este procedimento contribuiu para reduzir o número de revisões necessárias nas fases finais do processo e melhorar a consistência da documentação produzida.

3.5. Interação com Obra e Fabrico

Durante a fase de execução das estruturas, em obra, verificou-se que a utilização de modelos tridimensionais de armaduras contribuiu para melhorar a comunicação entre as equipas de projeto, preparação de obra e produção de armaduras.
A ligação direta entre o modelo e as Bar Bending Schedules permitiu garantir maior consistência entre a geometria das barras, os desenhos de preparação e as listagens utilizadas em fábrica. Esta rastreabilidade facilitou a identificação de varões específicos e reduziu a ocorrência de dúvidas associadas à interpretação da documentação.
Em algumas situações surgiram também alterações durante a fase de execução que implicaram ajustes na modelação das armaduras. Estas alterações estavam frequentemente associadas à necessidade de introduzir negativos ou elementos de fixação adicionais relacionados com outros sistemas construtivos. Embora em processos tradicionais baseados exclusivamente em desenhos estas modificações pudessem ser resolvidas através de pormenores locais, no contexto de um modelo orientado à produção tornou-se necessário rever a modelação das armaduras afetadas de forma a garantir a coerência entre o modelo tridimensional e as listagens de fabrico.
Apesar do esforço adicional associado a estas revisões, a existência de um modelo tridimensional permitiu compreender de forma mais clara o impacto das alterações introduzidas

e assegurar que a documentação final permanecia consistente com a solução efetivamente executada.

4. Estrutura de Codificação e Organização das Armaduras

A codificação das armaduras constitui um dos elementos fundamentais para assegurar a ligação entre o modelo tridimensional, as listagens de fabrico e a execução em obra. A existência de uma lógica de codificação consistente permite garantir a rastreabilidade das barras desde a fase de projeto até à produção e montagem.

4.1 Lógica de Codificação

Na metodologia adotada, cada código corresponde a uma geometria específica de varão. Barras que apresentam diferenças de diâmetro, comprimento ou forma de dobragem são tratadas como elementos distintos, sendo-lhes atribuído um código próprio nas Bar Bending Schedules.

Este princípio permite garantir que a informação transmitida às equipas de produção corresponde exatamente à geometria modelada. A correspondência direta entre código, geometria e quantidade de varões constitui um aspeto essencial para assegurar a consistência entre o modelo tridimensional, os desenhos de preparação e as listagens utilizadas em fábrica.

A definição de regras claras de codificação revelou-se particularmente importante em elementos com elevado número de barras, nos quais pequenas diferenças geométricas podem originar múltiplos códigos distintos.

4.2 Organização do Modelo

Para facilitar a gestão do processo de modelação e revisão, o modelo de armaduras é organizado segundo critérios que permitem estruturar a informação de forma clara e consistente. A organização interna do modelo considera a separação por níveis estruturais e por tipologia de elementos, nomeadamente pilares, vigas, lajes e fundações.

Esta estrutura permite simplificar a navegação no modelo e facilitar a verificação da informação antes da extração das Bar Bending Schedules. A organização por tipologia estrutural permite ainda identificar rapidamente zonas críticas do ponto de vista da densidade de armadura ou da complexidade geométrica.

A definição de regras internas para organização do modelo revelou-se igualmente importante para assegurar a coerência entre diferentes fases de desenvolvimento do trabalho, nomeadamente entre a fase de modelação inicial, as revisões intermédias e a emissão final da documentação de fabrico.

4.3 Impacto na geração de BBS

A experiência prática demonstrou que a forma como as armaduras são codificadas pode ter impacto direto na gestão do processo de fabrico. Em determinados casos, uma fragmentação excessiva de códigos pode conduzir a um aumento significativo do número de varões distintos, dificultando a gestão das listagens de produção.

A análise do modelo tridimensional permitiu identificar situações em que pequenas variações geométricas originavam múltiplos códigos semelhantes. Sempre que possível, e desde que compatível com os requisitos estruturais, foram adotadas soluções que permitiram racionalizar a codificação das armaduras, reduzindo a complexidade das listagens de fabrico.

Esta racionalização revelou-se particularmente relevante em elementos com elevada densidade de armaduras, contribuindo para simplificar a produção e melhorar a clareza da informação transmitida às equipas de fabrico.

5. Controlo Tridimensional e Resolução de Conflitos

A modelação tridimensional de armaduras permite realizar um controlo geométrico detalhado da disposição das barras antes da emissão da documentação para fabrico. Esta verificação constitui uma das principais vantagens da utilização de modelos tridimensionais no detalhe estrutural.

5.1 Conflitos geométricos entre armaduras

Em ambiente tridimensional tornam-se evidentes situações de interferência entre armaduras de diferentes elementos estruturais ou entre armaduras e aberturas ou negativos no betão. Estas situações são frequentemente difíceis de identificar através de desenhos bidimensionais, sobretudo em zonas onde convergem vários elementos estruturais.
A verificação geométrica do modelo permite analisar estas interferências de forma antecipada e avaliar a viabilidade da solução adotada antes da emissão da documentação para fabrico.

5.2 Zonas de elevada densidade

Para além de interferências geométricas diretas entre barras, a modelação tridimensional permite identificar zonas com elevada densidade de armadura nas quais a execução em obra pode tornar-se difícil. Mesmo quando não existem colisões explícitas entre varões, o espaço disponível pode ser insuficiente para permitir a correta colocação ou vibração do betão (Figura 3).

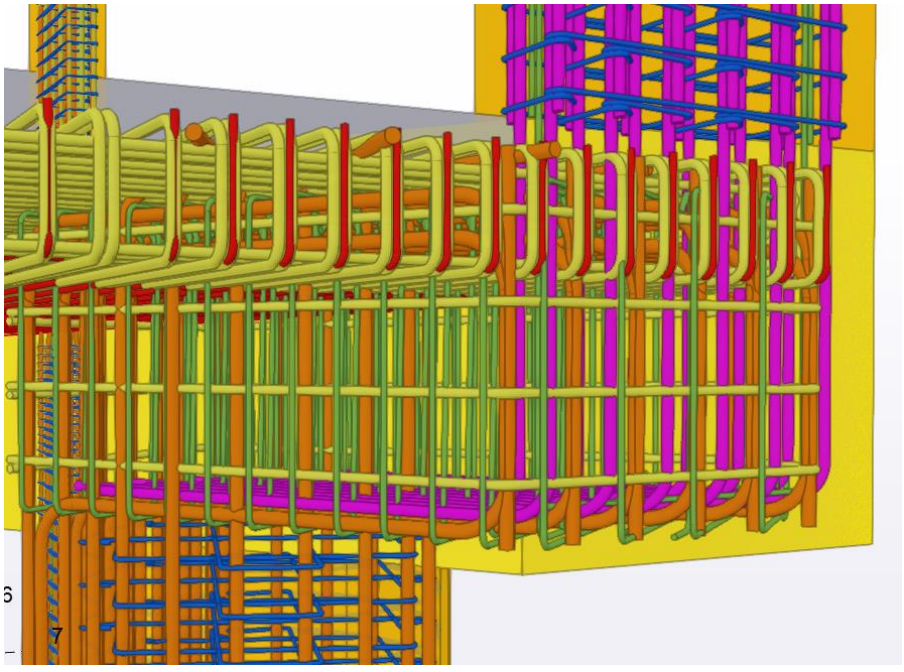


Figura 3 - Exemplo de zona de elevada densidade de armaduras

A visualização destas situações no modelo tridimensional permite avaliar a viabilidade da solução e introduzir ajustes na disposição das armaduras, nomeadamente através da redistribuição de varões, alteração de diâmetros ou revisão local dos espaçamentos.

5.3 Ajustes de modelação para viabilidade construtiva

Quando são identificadas situações de interferência ou densidade excessiva de armaduras, o modelo tridimensional permite testar diferentes soluções de forma relativamente rápida. Entre as estratégias adotadas incluem-se a redistribuição de varões, a alteração de diâmetros, o ajuste de espaçamentos ou a reformulação local da disposição das armaduras.

Este processo de ajuste permite melhorar a viabilidade construtiva das soluções adotadas, assegurando simultaneamente o cumprimento dos requisitos estruturais e regulamentares. A possibilidade de analisar estas alternativas diretamente no modelo tridimensional constitui um contributo relevante para a redução de problemas durante a execução em obra.

A utilização do modelo tridimensional como ferramenta de verificação permite assim não apenas representar o detalhe estrutural, mas também apoiar a tomada de decisões durante o processo de desenvolvimento do projeto.

6. Geração de Bar Bending Schedules e Documentação para Pré-fabricação

A modelação tridimensional de armaduras permite estabelecer uma ligação direta e rastreável entre o modelo digital da estrutura e a documentação utilizada no processo de fabrico. A partir do modelo final são extraídas automaticamente as Bar Bending Schedules (BBS), garantindo coerência entre a geometria modelada, os desenhos de preparação e as listagens utilizadas em produção (Figura 4).

Drawing Number:	510-541		*level:*	Foundations		*prepared by:* AM			*date prepared:*			30/06/2025	
Revision:	A					*checked by:* NC/JT			*date revised:*			30/06/2025	
Member	BAR MARK	TYPE AND SIZE	No. of MBRS	No. of BARS IN EACH	TOTAL No.	LENGTH of EACH BAR, mm *	BAR SHAPE CODE	*A [mm]	*B [mm]	*C [mm]	*D [mm]	*E/R [mm]	TOTAL WEIGHT [kg]	REV.
B1-1	FBR81	H16	1	1	1	2737	11	200	2573				4	
	FBR82	H16	1	1	1	2711	11	200	2548				4	
	FBR83	H16	1	1	1	2686	11	200	2522				4	
	FBR84	H16	1	1	1	2159	21	200	1832	200			3	
	FBR85	H16	1	1	1	2184	21	200	1858	200			3	
	FBR86	H16	1	1	1	2210	21	200	1883	200			3	
	FBS14	H8	1	10	10	840	52	100	275	61	61		3	
B1-10	FBR37	H16	2	3	6	5680	0	5680					54	
	FBR38	H16	2	3	6	6320	0	6320					60	
	FBS1	H8	2	22	44	1440	52	150	525	61	61		25	
B1-11	FBR43	H16	1	3	3	5909	0	5909					28	
	FBR44	H16	1	3	3	5269	0	5269					25	
	FBS1	H8	1	20	20	1440	52	150	525	61	61		11	
B1-12	FBR41	H16	1	3	3	4057	0	4057					19	
	FBR42	H16	1	3	3	5997	0	5997					28	
	FBS1	H8	1	14	14	1440	52	150	525	61	61		8	
	WSR8	H10	1	10	10	1587	11	114	1496				10	

Figura 4 - Excerto de Bar Bending Schedule extraída diretamente do modelo

As BBS constituem o principal documento de referência para o fabrico de armaduras, contendo a identificação de cada varão, o diâmetro, o comprimento total, a forma de dobragem e a quantidade necessária. A informação é organizada segundo códigos individuais associados a

cada geometria de barra, permitindo garantir a rastreabilidade entre o modelo tridimensional e os elementos produzidos em fábrica.
A extração direta das BBS a partir do modelo reduz o risco de erros associados à transcrição manual de informação e permite atualizar automaticamente as listagens sempre que são introduzidas alterações na modelação das armaduras.
Para além das listagens de barras, o modelo tridimensional permite gerar desenhos de preparação que representam a disposição das armaduras nos diferentes elementos estruturais. Estes desenhos constituem um complemento importante às BBS, facilitando a interpretação da informação pelas equipas de fabrico e montagem.
A utilização conjunta do modelo tridimensional, das BBS e dos desenhos de preparação contribui para melhorar a comunicação entre as equipas de projeto, produção e obra, reduzindo ambiguidades na interpretação da documentação e facilitando a identificação de varões específicos durante o processo de montagem.
A Figura 5 ilustra esta correspondência entre o modelo tridimensional de armaduras e a sua materialização em obra.

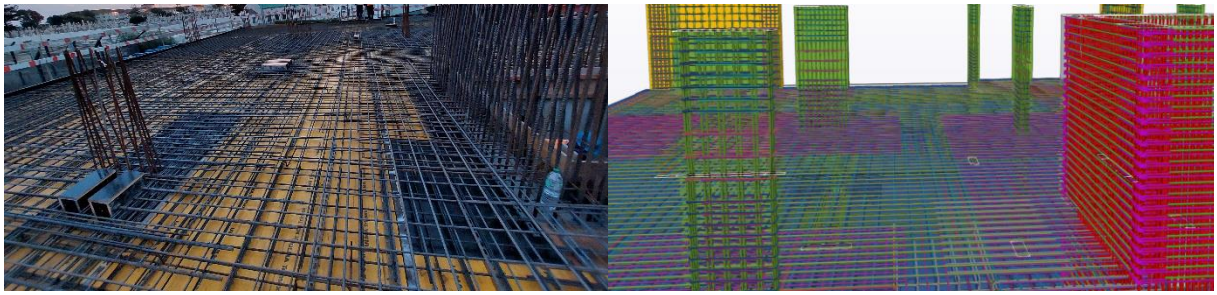


Figura 5 – (a) Armaduras em Obra | (b) Modelo BIM de armaduras

7. Resultados e Discussão

A aplicação da metodologia descrita permitiu observar benefícios relevantes ao nível da qualidade da documentação produzida e da gestão do processo construtivo. Nos projetos analisados, foram identificadas em média 3 a 4 situações críticas por piso associadas a conflitos geométricos, elevada densidade de armadura ou dificuldades de montagem, permitindo avaliar a viabilidade das soluções e introduzir ajustes antes da emissão da documentação para fabrico.
A ligação direta entre o modelo tridimensional e a extração automática de BBS contribuiu para melhorar a consistência entre o modelo, os desenhos de preparação e as listagens utilizadas em produção, reduzindo potenciais erros associados à transcrição manual de informação e aumentando a fiabilidade das quantidades fornecidas para fabrico.
Contudo, a adoção desta abordagem implica um investimento inicial superior em termos de tempo quando comparada com processos baseados exclusivamente em desenho bidimensional. Para além disso, a implementação eficaz desta metodologia requer a definição de regras internas claras de modelação e codificação, bem como experiência na gestão da interoperabilidade entre diferentes plataformas BIM.
De forma global, a experiência obtida indica que os benefícios desta abordagem se tornam mais evidentes em estruturas com maior complexidade geométrica, elevada densidade de armadura ou em contextos onde o fabrico de armaduras assume um papel central na organização da obra.

Embora aplicada em contexto regulamentar britânico, a abordagem é transferível para outros enquadramentos normativos, desde que adaptada aos respetivos códigos de dobragem, formatos de listagem e requisitos de fabrico.

8. Conclusões e Trabalho Futuro

O trabalho apresentado demonstra que a modelação tridimensional de armaduras em ambiente BIM pode constituir uma ferramenta eficaz para o detalhe estrutural orientado à produção. A integração entre o modelo geométrico da estrutura, o controlo tridimensional da disposição das armaduras e a extração automática de BBS permite reforçar a consistência da informação transmitida às equipas de fabrico e montagem.

A experiência prática descrita no artigo evidencia que esta abordagem contribui para melhorar a previsibilidade do processo construtivo, permitindo identificar antecipadamente conflitos geométricos, zonas de elevada densidade de armadura e dificuldades potenciais de execução. A utilização do modelo tridimensional como suporte ao processo de decisão revelou-se particularmente útil na fase de detalhamento, facilitando a avaliação de diferentes soluções antes da emissão da documentação final.

Apesar dos benefícios observados, a implementação desta metodologia exige um esforço inicial de desenvolvimento de processos internos, bem como uma adaptação das equipas de projeto a novas formas de trabalho baseadas em modelação tridimensional detalhada.

Como trabalho futuro, destaca-se o potencial de desenvolvimento de processos mais automatizados de geração e verificação de armaduras, incluindo a integração com resultados de análise estrutural e ferramentas de programação visual. Testes preliminares realizados em contexto de aprendizagem, com ligação entre Rhino/Grasshopper e ambientes de modelação orientados à produção, indicam potencial para automatizar tarefas repetitivas e tornar o processo de detalhe estrutural progressivamente mais eficiente.

A experiência descrita demonstra que a utilização de modelos tridimensionais de armaduras pode constituir uma ferramenta relevante para aproximar o processo de projeto de estruturas das necessidades reais do fabrico e da execução em obra.

Referências

[1] BS 8666:2020, Scheduling, dimensioning, bending and cutting of steel reinforcement for concrete, BSI, 2020.
[2] BS EN 1992-1-1:2004 + A1:2014 Eurocode 2: Design of concrete structures — Part 1-1: General rules and rules for buildings.
[3] BS EN ISO 3766:2003, Construction drawings – Simplified representation of concrete reinforcement.
[4] buildingSMART International, Industry Foundation Classes (IFC) Specification, 2022.
[5] C. Eastman et al., BIM Handbook, 3rd ed., Wiley, 2018.
[6] J. P. Silva, L. C. Neves e J. C. Lino, “Incorporação das Armaduras no Projeto de Estruturas em BIM”, *ptBIM*, 2019.
[7] A. R. Maciel and F. R. Correa, “Interoperability with IFC in the Automated Rebar Fabrication”, *Proceedings of the 33rd ISARC*, pp. 872–880, 2016.

12345

DIGITALIZAÇÃO PARAMÉTRICA DE UM PRODUTO INOVADOR (UTS) COM FAMÍLIAS, PDT E ROTINAS DYNAMO

Gonçalo Azevedo, Carolina Rua, Luís Sanhudo,
Mohamad El Sibaii, José Granja, Miguel Azenha

ptBIM

DIGITALIZAÇÃO PARAMÉTRICA DE UM PRODUTO INOVADOR (UTS) COM FAMÍLIAS, PDT E ROTINAS DYNAMO

Gonçalo Azevedo[(1)], Carolina Rua[(2)], Luís Sanhudo[(3)], Mohamad El Sibaii[(4)], José Granja[(5)], Miguel Azenha[(6)]

(1) BUILT CoLAB, Lisboa, 0009-0005-8411-6071
(2) BUILT CoLAB, Lisboa, 0009-0002-3359-5453
(3) BUILT CoLAB, Porto, 0000-0002-2578-6981
(4) ISISE, Guimarães, 0000-0002-0810-9241
(5) ISISE, Guimarães, 0000-0002-0858-4990
(6) ISISE, Guimarães, 0000-0003-1374-9427

Resumo

A crescente necessidade de adoção de sistemas construtivos industrializados em madeira, como alternativa a soluções tradicionais em betão armado, coloca desafios relevantes à sua representação consistente em ambientes *Building Information Modelling* (BIM). Neste contexto, o artigo apresenta uma abordagem metodológica para a digitalização BIM de um sistema de lajes em madeira de elevada complexidade, utilizando o *Universal Timber Slab* (UTS) como caso de estudo.

O trabalho descreve o desenvolvimento de um conjunto integrado de famílias BIM paramétricas, concebidas para traduzir a lógica construtiva do sistema, estruturadas segundo princípios openBIM e suportadas por um *Product Data Template* (PDT) conforme as normas EN ISO 23386 e EN ISO 23387. O PDT permite estruturar e normalizar a informação técnica, material e de ciclo de vida associada aos elementos, assegurando consistência semântica e interoperabilidade entre plataformas.

Para apoiar a correta utilização das famílias e reduzir tarefas repetitivas de modelação, foram implementadas rotinas *Dynamo* que testam a segmentação da laje, identificando os apoios e estabelecendo a ligação entre os diferentes componentes do sistema. Estes automatismos contribuem para a coerência do modelo em fase de projeto e para a disponibilização de informação estruturada para fases posteriores.

O artigo discute, através da articulação entre PDT, famílias paramétricas e automação de que forma é possível desenvolver um ecossistema BIM coerente para a representação de sistemas construtivos industrializados e complexos. A abordagem apresentada é enquadrada enquanto metodologia transferível para a modelação BIM de produtos construtivos com características semelhantes no setor da Arquitetura, Engenharia, Construção e Operações (AECO).

1. Introdução

A integração de sistemas construtivos complexos em ambiente BIM coloca desafios que vão além da simples representação geométrica dos elementos, uma vez que a utilização do BIM, apenas como modelo tridimensional simbólico, limita o potencial de utilização da informação. Assim, torna-se necessário que o modelo BIM represente não só a forma, mas também a lógica construtiva e a informação relevante associada aos componentes, de modo a permitir a sua utilização consistente e a integração com outras extensões digitais ao longo do ciclo de vida [1].

Neste contexto, o presente artigo aborda a integração em ambiente BIM do sistema construtivo UTS, com o intuito de testar a representação de um sistema físico complexo para um modelo digital estruturado, permitindo simular o seu comportamento e funcionamento em ambiente BIM. O trabalho centra-se na forma como a modelação paramétrica, a estruturação da informação e o recurso a mecanismos de apoio à modelação contribuem para esse objetivo.

Paralelamente, é apresentada a definição de um PDT que permite identificar, estruturar e normalizar os dados alfanuméricos associados aos elementos do sistema, garantindo coerência semântica e preparando o modelo para interoperabilidade e evolução futura.

O artigo pretende demonstrar uma abordagem à digitalização BIM de sistemas construtivos complexos, cujo conhecimento pode ser transferido e adaptado a outros sistemas semelhantes ou análogos, contribuindo para a reflexão sobre diferentes estratégias de digitalização de sistemas elevada complexidade em contexto BIM.

Para além da presente secção introdutória, a Secção 2 apresenta o enquadramento do caso de estudo, descrevendo o sistema UTS e as suas principais características conceptuais e construtivas. A Secção 3 expõe a estratégia de modelação paramétrica adotada, detalhando a definição das unidades funcionais Vão e Apoio e o desenvolvimento das respetivas famílias. A Secção 4 aborda os automatismos implementados com recurso ao Dynamo, enquadrando a sua articulação com o *Intelligent Decision Support System* (IDSS) e apresentando os ensaios de interligação e segmentação realizados. A Secção 5 descreve a estratégia de materialidade e representação visual adotada, enquanto a Secção 6 trata da exportação IFC e da validação da interoperabilidade. A Secção 7 apresenta o desenvolvimento do PDT e o respetivo enquadramento normativo e, por fim, a Secção 8 reúne as principais conclusões e contributos do trabalho.

2. Enquadramento – *Universal Timber Slab*

O UTS, é um sistema construtivo em madeira desenvolvido para a execução de lajes estruturais apoiadas pontualmente, aplicável a edifícios de múltiplos pisos e inserido no domínio das soluções de laje estrutural tradicionalmente resolvidas com sistemas em betão armado. O sistema foi concebido para responder a geometrias em planta variáveis e a configurações estruturais não regulares, permitindo a definição de lajes com geometrias não ortogonais e diferentes disposições de apoio.

Do ponto de vista conceptual e construtivo, o sistema baseia-se numa lógica segmentada, na qual a laje não é tratada como um elemento monolítico, mas como o resultado da combinação de múltiplas unidades. Estas unidades correspondem a segmentos pré-fabricados, constituídos por conjuntos de lamelas de madeira laminadas segundo trajetórias variáveis, cuja organização

é ajustada em função da geometria da laje e das condições locais de apoio. Esta abordagem permite adaptar a solução a requisitos específicos de cada projeto, conduzindo a soluções otimizadas e customizadas. Na Figura 1 é possível observar uma vista em planta e perspetiva deste tipo de laje.
A configuração sistema, desde as lamelas até à laje global, permite ganhos ao nível da eficiência estrutural e material, mas consequentemente introduz também um elevado grau de complexidade na representação do sistema. Elementos como a segmentação, a orientação das lamelas e as ligações entre componentes são determinantes para o comportamento estrutural e para os processos de fabrico. Esta complexidade torna o UTS um caso adequado para discutir abordagens de representação em ambiente BIM, desenvolvidas nos capítulos seguintes.

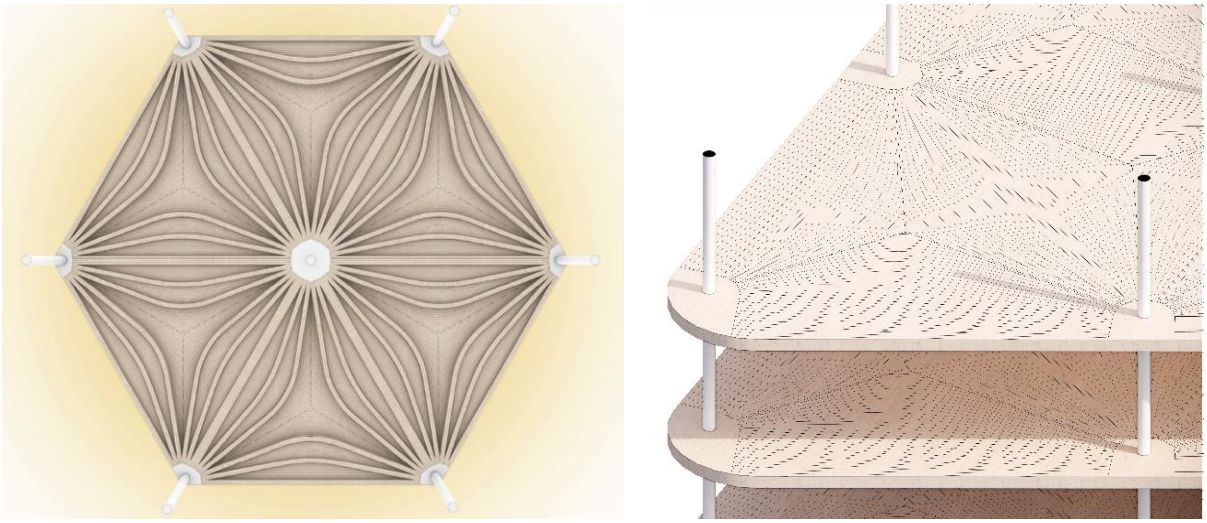


Figura 1: Vista em planta e perspetiva do sistema UTS

3. Modelação paramétrica

3.1 Estratégia de modelação: Vão e Apoio

A estratégia de modelação paramétrica adotada para a digitalização BIM do sistema UTS teve como ponto de partida a definição do nível de granularidade mais adequado para representar a laje em ambiente BIM. Numa fase inicial, foi considerada a possibilidade de modelar a laje como um único elemento, concentrando num só objeto toda a geometria e informação associada ao sistema. Contudo, face à complexidade construtiva da laje, composta por lamelas e grupos e segmentos, e também devido aos objetivos de coordenação, interoperabilidade e gestão da informação definidos, concluiu-se que essa abordagem não oferecia a flexibilidade necessária para aplicar o sistema, com as suas diferentes variáveis, consoante o projeto a desenvolver.
Em alternativa, optou-se por uma simplificação deliberada, baseada na decomposição da laje em unidades funcionais. Neste contexto, o Vão (*Bay*) foi definido como a unidade fundamental de modelação. Cada Vão corresponde a uma subdivisão funcional da laje, resultante da lógica de segmentação do sistema, e constitui um elemento autónomo, portador da informação geométrica e alfanumérica necessária para a sua identificação, coordenação e integração no conjunto da laje. Esta opção permitiu estruturar o modelo de forma modular e escalável,

facilitando a adaptação a diferentes configurações geométricas e a gestão de múltiplas instâncias.
Complementarmente, os Apoios (*Supports*) foram modelados como entidades independentes, representando exclusivamente as condições locais de apoio da laje. No modelo BIM, os Apoios não têm significado isolado, adquirindo relevância apenas através da sua relação com um ou mais Vãos. A distinção clara entre Vãos e Apoios permite tornar explícitas no modelo digital relações que, de outro modo, permaneceriam implícitas, contribuindo para uma maior clareza e legibilidade da estrutura do sistema.
Esta estratégia, permite reduzir a complexidade do modelo BIM, mantendo apenas os elementos essenciais para descrever o comportamento global da laje.

3.2 Modelação do Vão

O Vão foi modelado como uma família BIM autónoma e paramétrica. A sua geometria corresponde ao conjunto global do segmento de laje, sem incluir a modelação explícita de lamelas ou ligações construtivas, permitindo abstrair a complexidade física do sistema e concentrar a modelação nos aspetos relevantes para coordenação e gestão da informação.
A família foi parametrizada com um conjunto restrito e controlado de parâmetros geométricos, permitindo a adaptação a diferentes configurações da laje, nomeadamente ao nível das dimensões globais. Esta parametrização foi concebida de forma a garantir estabilidade da família e facilitar a replicação e modificação de instâncias. Adicionalmente, o Vão integra parâmetros informativos destinados à identificação e classificação do elemento, organizados de forma consistente e agrupados num conjunto dedicado, assegurando uniformidade entre famílias e alinhamento com uma estrutura de dados preparada para interoperabilidade.
Na Figura 2 é possível observar o elemento modelado em ambiente *Autodesk Revit* e os parâmetros associados criados.

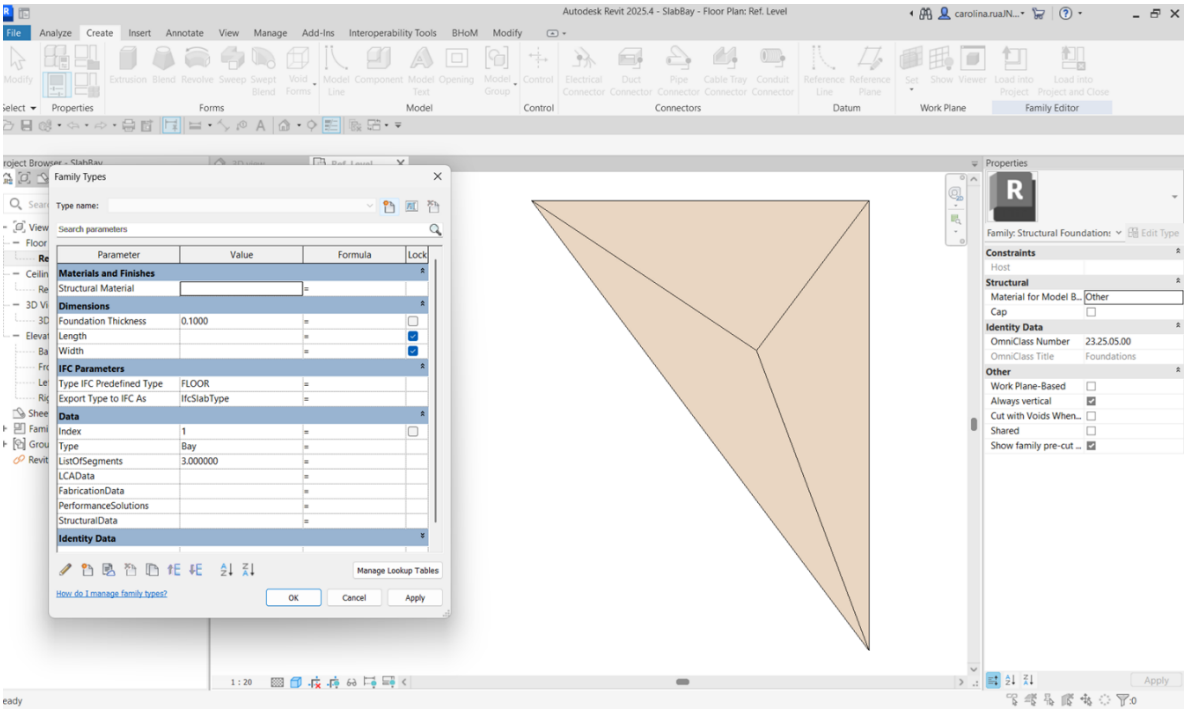


Figura 2: Exemplo de família BIM do Vão, em ambiente *Autodesk Revit*

3.3 Modelação do Apoio

Na modelação do elemento Apoio, foram identificadas duas categorias principais: apoios lineares e apoios verticais. Apenas foi modelado o apoio vertical, pois os apoios lineares estão normalmente representados por elementos nativos do ambiente BIM, modelados diretamente em cada projeto de acordo com a sua configuração específica. A criação de uma família dedicada para o Apoio vertical permitiu maior controlo sobre os parâmetros e a sua integração com os Vãos.

A família do Apoio foi desenvolvida como um elemento paramétrico simples, com geometria abstrata, representando exclusivamente a posição e a função do apoio no sistema. A parametrização permite ajustar dimensões básicas, como altura e secção, sem introduzir detalhes construtivos específicos.

Tal como no caso do Vão, a família do Apoio inclui parâmetros informativos destinados à identificação, categorização e ligação ao sistema. Estes parâmetros permitem descrever o tipo de apoio e a sua relação com os Vãos, reforçando o seu papel como elemento relacional no modelo BIM. Na Figura 3 é possível observar o elemento Apoio modelado em ambiente *Autodesk Revit* e os parâmetros associados criados.

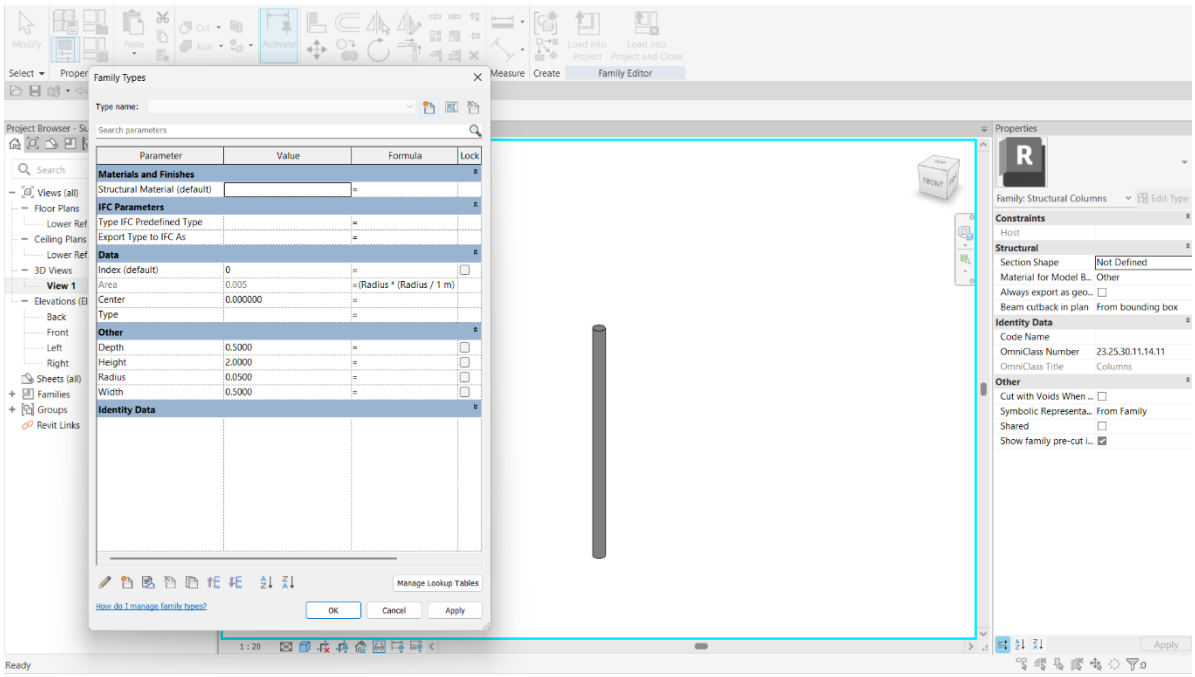


Figura 3: Família do apoio Apoio em ambiente *Autodesk Revit*

4. Automatismos de apoio à interligação de elementos com recurso a *Dynamo*

Após a definição da estratégia de modelação e o desenvolvimento das famílias BIM do sistema UTS, tornou-se necessário testar, em ambiente BIM, a forma como os diferentes elementos interagem quando utilizados em conjunto num determinado projeto. Particularmente, interessava verificar se a distinção entre Vãos e Apoios, adotada como base da estratégia de modelação, permitia representar de forma explícita, consistente e legível as relações entre segmentos da laje e as respetivas condições de apoio.

A necessidade desta verficação enquadra-se numa lógica de antecipação da futura integração do sistema UTS com o IDSS. O IDSS tem como objetivo analisar edifícios em ambiente BIM e avaliar, de forma automatizada, a aplicabilidade do sistema UTS, identificando vantagens e limitações face a soluções estruturais convencionais. Para que esta integração seja viável, o modelo BIM deve cumprir requisitos estruturais específicos, nomeadamente a existência de relação entre Vãos e Apoios e a capacidade de subdivisão dos vãos.
Neste contexto, o *Dynamo* foi utilizado para o desenvolvimetno destes automatismos, constituindo assim uma etapa de pré-validação do modelo BIM, assegurando que as famílias criadas se encontram alinhadas com os requisitos de interoperabilidade e estrutura de dados necessários à futura articulação com o IDSS. Em termos operacionais, as rotinas desenvolvidas recebem como input a geometria e a posição relativa dos elementos modelados, processam regras de associação entre Vãos e Apoios e escrevem automaticamente essa relação em parâmetros dedicados das famílias.

4.1. Identificação e listagem de apoios associados a cada Vão

Com o objetivo de verificar se a interligação entre Vãos e Apoios podia ser representada explicitamente em ambiente BIM, foi desenvolvido um automatismo em *Dynamo* destinado a identificar os Apoios associados a cada Vão colocado no modelo. Este ensaio constituiu um passo prévio aos testes de segmentação da laje, permitindo confirmar a viabilidade da abordagem adotada para relacionar os diferentes elementos do sistema.
A rotina analisa a posição relativa entre Vãos e Apoios num modelo de projeto e estabelece automaticamente a correspondência entre estes elementos. O resultado é registado num parâmetro dedicado da família do Vão, designado “List of Supports” (Figura 4), associando, ao nível de cada instância BIM, os respetivos Apoios. Assim o Vão tem um parâmetro que identifica exatamente o ID do apoio que está a suportá-lo. Este ensaio permitiu confirmar que a estrutura de parâmetros definida nas famílias suporta a representação explícita da interligação entre Vãos e Apoios, conforme previsto na estratégia de modelação adotada.

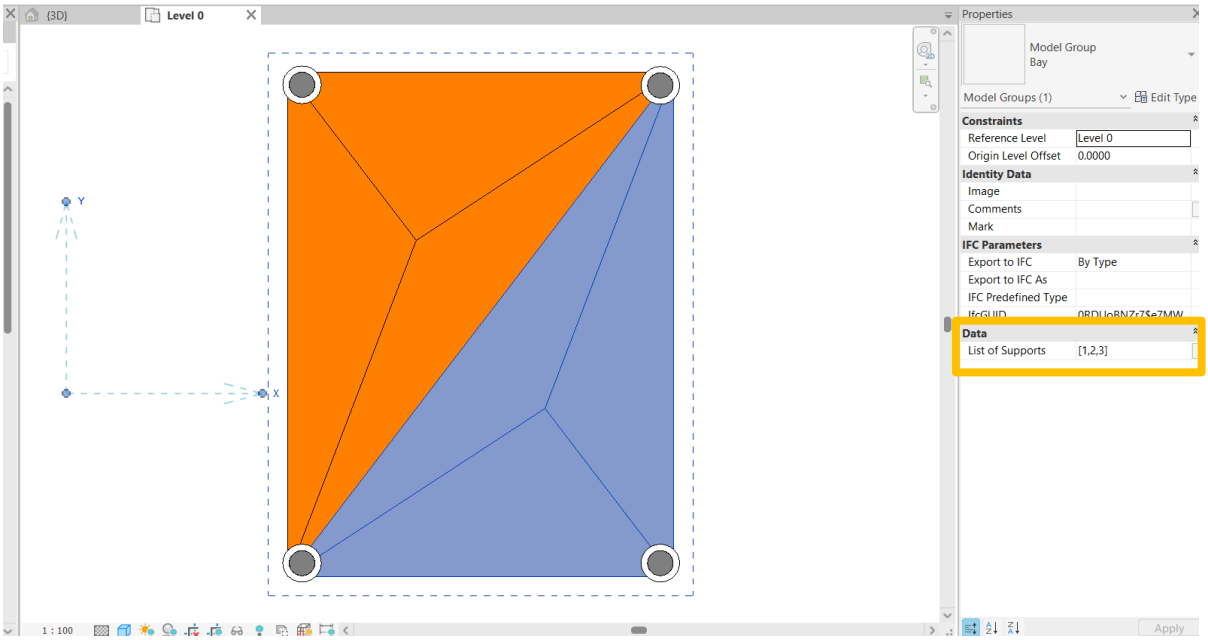


Figura 4: Lista de Apoios do Vão

4.2. Ensaios de segmentação da laje em Vãos

Após a validação da interligação entre Vãos e Apoios, procedeu-se a ensaios de segmentação da laje em ambiente BIM, com o objetivo de testar o comportamento modular dos Vãos enquanto unidades funcionais do sistema. Para esse efeito, utilizou-se uma laje retangular como geometria de referência, a partir da qual a rotina permitiu subdividir a laje em segmentos e gerar múltiplos Vãos. De forma simplificada, o automatismo interpreta a geometria-base da laje, aplica regras de subdivisão previamente definidas e instancia os Vãos correspondentes, mantendo a coerência geométrica e informacional entre os elementos gerados. Este ensaio permitiu demonstrar o comportamento modular e paramétrico dos elementos UTS quando utilizados em conjunto no ambiente *Autodesk Revit*.

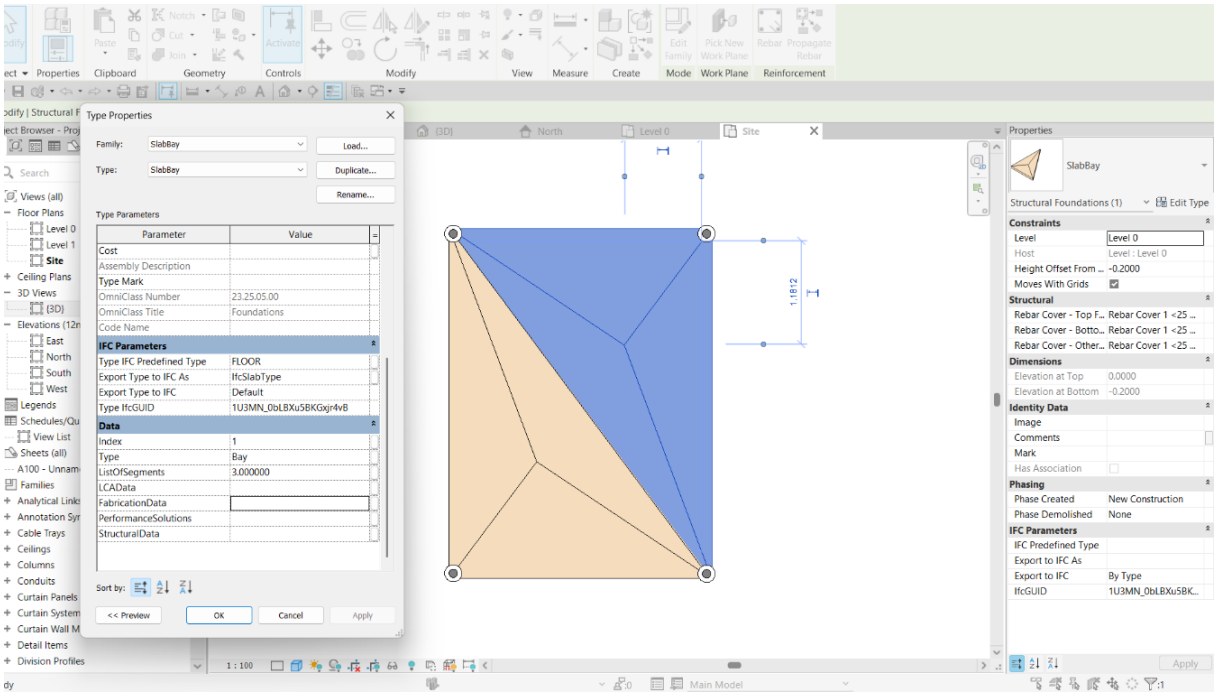


Figura 5: Propriedades do Vão

4.3. Resultado dos ensaios de interligação

Os ensaios realizados com recurso ao *Dynamo* permitiram verificar, em ambiente BIM, a viabilidade da interligação entre Vãos e Apoios e a geração de unidades funcionais a partir de uma lógica de segmentação. Este ensaio permite confirmar que a estrutura de modelação adotada suporta a representação explícita das relações entre os diferentes elementos do sistema. Assim, o modelo resultante constitui um protótipo funcional que demonstra a coerência da abordagem baseada na distinção entre Vãos e Apoios e a adequada organização de parâmetros definida nas famílias, validando a estratégia de modelação adotada para esta fase do trabalho e a aplicabilidade do modelo BIM como suporte à representação e ensaio das relações fundamentais do sistema UTS. Na Figura 6 pode ser observado o resultado do sistema UTS em ambiente *Autodesk Revit*.

5. Materialidade e representação visual

A materialidade dos elementos BIM do sistema UTS foi definida de forma deliberadamente simplificada (em coerência com o nível de abstração adotado), com o objetivo de assegurar uma representação visual clara e consistente sem induzir em interpretações relativas ao comportamento estrutural, à orientação das lamelas ou a detalhes de fabrico do sistema. Apenas o Vão, enquanto unidade geométrica fundamental da laje segmentada, recebeu uma materialidade genérica em madeira para facilitar a identificação visual em ambientes de projeto, mantendo-se os Apoios com uma representação neutra. A textura aplicada é não-direcional e foi definida de forma compatível com a exportação *Industry Foundation Classes* (IFC), permitindo preservar a aparência e a identificação dos elementos em fluxos openBIM e funcionando como mecanismo adicional de validação da coerência da modelação.

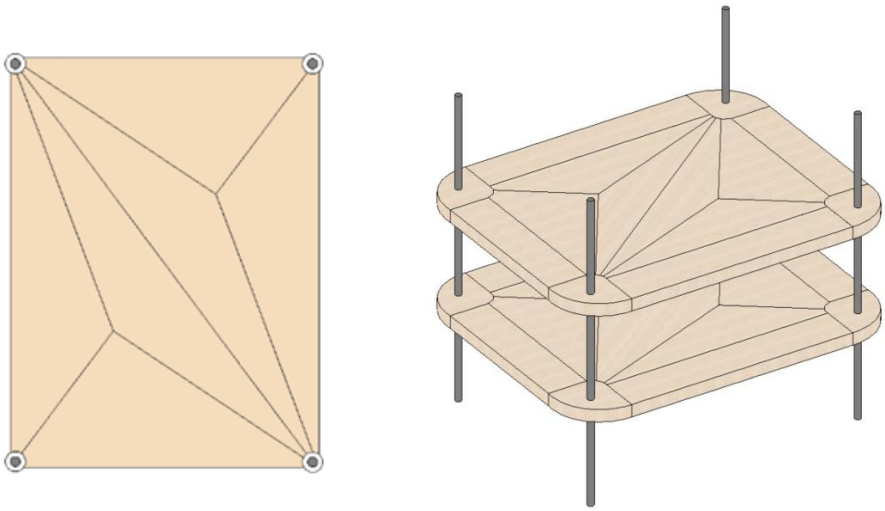


Figura 6: Resultado do Sistema UTS no *Autodesk Revit*

6. Exportação IFC e validação da interoperabilidade

A modelação do sistema UTS foi desenvolvida considerando, desde o início, a necessidade de interoperabilidade e de compatibilidade com princípios openBIM, tendo a exportação para formato IFC sido utilizada como mecanismo de verificação da coerência da estrutura de modelação adotada. A separação clara entre entidades, a organização consistente dos parâmetros e a definição cuidada das famílias permitiram uma exportação IFC legível, preservando a identificação única dos elementos, bem como a tradução da geometria e das relações entre Vãos e Apoios fora do ambiente de autoria.
Este processo confirmou a capacidade do modelo BIM para manter a informação associada aos elementos em contextos externos, funcionando como validação da interoperabilidade e da adequação das opções tomadas ao nível da estruturação da informação. Adicionalmente, sendo o formato IFC o meio para a comunicação com o IDSS, esta validação assume um papel determinante, assegurando que a geometria, os parâmetros e as relações entre Vãos e Apoios

podem ser corretamente interpretados e processados, suportando futuras análises automatizadas.
Ainda assim, importa referir que esta validação teve, nesta fase, um carácter preliminar, incidindo sobretudo na verificação da legibilidade do modelo exportado, na preservação da identificação dos elementos e na manutenção das relações essenciais entre Vãos e Apoios. Não foi ainda realizada uma validação cruzada e sistemática da informação exportada em diferentes plataformas BIM ou ferramentas de análise, nem aprofundada a eventual existência de limitações associadas à tradução de determinados parâmetros, relações semânticas ou comportamentos específicos fora do ambiente nativo de desenvolvimento. Neste sentido, a interoperabilidade do modelo deverá ser aprofundada em trabalhos futuros, nomeadamente através de testes em diferentes plataformas e da avaliação da robustez da informação exportada em cenários de utilização mais alargados.

7. *Product Data Template*

Os PDTs constituem um elemento central da normalização da informação no contexto do BIM, permitindo estruturar e uniformizar a definição da informação não gráfica associada aos produtos de construção. No sistema UTS, o PDT foi desenvolvido para definir e organizar os parâmetros dos seus principais componentes, Vão e Apoio, criando uma base estruturada para a integração consistente do sistema em fluxos digitais de projeto e assegurando coerência semântica e interoperabilidade [2].
O desenvolvimento do PDT seguiu a metodologia [3] alinhada com as normas EN ISO 23386 e EN ISO 23387, tendo sido definidos PDTs distintos para cada objeto, de forma a refletir o seu papel específico no sistema e evitar ambiguidades na informação. Os PDTs encontram-se disponibilizados publicamente na plataforma pdts.pt, reforçando o seu carácter reutilizável e o papel do PDT como elemento estruturante da abordagem adotada.

8. Conclusão

A digitalização BIM de sistemas construtivos complexos exige uma definição clara de um nível de abstração adequado, privilegiando a identificação dos elementos, relações e dados essenciais em detrimento da reprodução exaustiva da complexidade física do produto.
A utilização do sistema *Universal Timber Slab* (UTS) permitiu testar uma abordagem baseada na decomposição do sistema em unidades funcionais e relacionais, concretizada na distinção entre Vão e Apoio. Esta estratégia, associada à modelação paramétrica das famílias, aos ensaios de interligação com recurso a *Dynamo* e à definição de um *Product Data Template* alinhado com normas internacionais, possibilitou a criação de um modelo coerente, legível e preparado para interoperabilidade.
Embora aplicada a um caso de estudo específico, a metodologia apresentada é transferível para a digitalização BIM de outros sistemas construtivos complexos que partilhem características semelhantes, como elevada variabilidade geométrica, dependência de condições locais e forte articulação entre componentes. A definição de unidades funcionais, a estruturação semântica da informação e a validação das relações através de automatismos constituem uma abordagem que pode ser adaptados a diferentes contextos.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio financeiro do programa Horizonte Europa e da European Innovation Council and SMEs Executive Agency (EISMEA), no âmbito do projeto EIC Pathfinder UniversalTimberSlab (Grant Agreement n.º 101161103). Este trabalho contou ainda com o cofinanciamento do PRR – Plano de Recuperação e Resiliência e da União Europeia, no âmbito do investimento RE-C05-i02: Missão Interface – CoLAB. Este trabalho é também financiado por fundos nacionais através da FCT – Fundação para a Ciência e a Tecnologia, no âmbito do Programa MIT-Portugal, ao abrigo do Grant Agreement MPP2030-FCT-2022. Beneficiou igualmente do apoio da FCT/MCTES através da Unidade de I&D Institute for Sustainability and Innovation in Structural Engineering (ISISE), ao abrigo das referências UID/04029/2025, UID/PRR/04029/2025 e UID/PRR2/04029/2025, bem como do Laboratório Associado Advanced Production and Intelligent Systems (ARISE), ao abrigo da referência LA/P/0112/2020.

Referências

[1] R. Matos, F. Rodrigues, H. Rodrigues, A. Alves e P. Ribeirinho, “Building life cycle management na reabilitação de edifícios,” 2016.

[2] CT197, SECClasS e REV@Construction, “Universidade do Minho,” 2021. [Online]. Available: https://pdts.pt/.

[3] M. E. Sibaii, J. Granja, R. R. Ribeiro, P. Meda, R. Resende, J. d. Santos, P. L. Martins, A. A. Costa, J. P. Martins e M. Azenha, “Rumo à definição de ‘Product Data Templates’ nacionais para aplicação generalizada em contexto BIM: Esforços da CT197,” 2022.

12345

FLUXO DE TRABALHO BIM PARA DIMENSIONAMENTO E PROJETOS DE CONSTRUÇÃO MODULAR

Thaís R. L. Soares, José Granja, Miguel Azenha

ptBIM

FLUXO DE TRABALHO BIM PARA DIMENSIONAMENTO E PROJETOS DE CONSTRUÇÃO MODULAR

Thaís R. L. Soares [(1)], José Granja [(2)], Miguel Azenha [(3)]

(1) Universidade do Minho, ISISE, ARISE, Departamento de Engenharia Civil, Guimarães, Portugal, 0000-0001-9682-6883
(2) Universidade do Minho, ISISE, ARISE, Departamento de Engenharia Civil, Guimarães, Portugal, 0000-0002-0858-4990
(3) Universidade do Minho, ISISE, ARISE, Departamento de Engenharia Civil, Guimarães, Portugal, 0000-0003-1374-9427

Resumo
A construção modular industrial é um subsetor cada vez mais relevante na indústria da Arquitetura, Engenharia e Construção. O crescimento deste segmento enfrenta desafios variados, relacionados com a complexidade da personalização, exigências regulamentares e integração com práticas convencionais. Neste contexto, a metodologia BIM surge como um catalisador crucial para a evolução do setor. No entanto, a sua integração total na construção modular continua limitada, particularmente entre as empresas que por vezes carecem de recursos ou conhecimentos especializados para investir na transformação digital. Este estudo aborda o processo de implementação do fluxo de trabalho digital no cenário português, mapeando o fluxo de trabalho tradicional de uma empresa de construção modular industrial. Através desse mapeamento, foram identificadas ineficiências causadas pela troca fragmentada de informações e pela interoperabilidade imatura, o que permitiu o desenvolvimento de um fluxo de trabalho digital revisto para melhorar a comunicação, reduzir o retrabalho e otimizar a utilização de ferramentas. Com base no diagnóstico do status atual e no mapa de processos proposto, uma metodologia de implementação foi desenvolvida, oferecendo estratégias práticas para navegar na transição digital, sob a ótica da metodologia organizacional e da metodologia de trabalho, aliada ao desenvolvimento de ferramentas práticas para facilitar a implementação proposta. A investigação contribui para a compreensão académica e a aplicação industrial, enfatizando a importância do planeamento estratégico e da aceleração da integração do BIM nas empresas de construção modular.

1. Introdução

A construção modular industrial tem vindo a afirmar-se como um dos subsetores mais dinâmicos da engenharia civil, impulsionada pela necessidade de maior eficiência produtiva, de redução de prazos e de controlo de qualidade [1], [2]. Ao transferir parte significativa das

atividades tradicionalmente realizadas em obra para ambientes industriais controlados, este modelo permite maior previsibilidade, padronização e racionalização de recursos. Simultaneamente, a crescente exigência de personalização dos projetos, aliada a requisitos regulamentares cada vez mais rigorosos, introduz novos níveis de complexidade técnica e organizacional. Neste contexto, a integração eficaz entre as fases de design, dimensionamento e produção desempenha papel determinante para o sucesso da construção modular industrial.

Paralelamente, a metodologia Building Information Modelling (BIM) tem consolidado sua relevância no setor de Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC), ao promover a gestão estruturada da informação ao longo do ciclo de vida dos ativos. O BIM possibilita a criação de modelos digitais integrados, que suportam a colaboração multidisciplinar, a interoperabilidade entre ferramentas e a tomada de decisão baseada em dados [3]. A sua adoção tem sido associada a ganhos significativos em coordenação, redução de conflitos, melhoria da qualidade da documentação e otimização dos processos construtivos. No entanto, apesar do seu potencial reconhecido, a implementação do BIM permanece desigual entre os diferentes segmentos do setor AEC [4].

No caso específico da construção modular industrial, persistem desafios relevantes na integração plena da metodologia BIM [5], [6]. Muitas empresas operam com processos parcialmente digitalizados, caracterizados pela fragmentação da informação, pelo uso de softwares sem interoperabilidade direta e pela ausência de protocolos formais de troca de dados. Adicionalmente, a articulação entre equipas de design e produção nem sempre é sustentada por fluxos de trabalho estruturados, o que resulta em retrabalho, inconsistências e ineficiências operacionais [7]. A literatura existente evidencia o potencial do BIM para responder a estas limitações [8], [9], mas ainda são escassos os estudos que abordam, de forma aplicada e contextualizada, a definição de processos de implementação adequados à realidade das empresas de construção modular, particularmente no cenário português.

Face a este enquadramento, o presente estudo tem como objetivo definir um processo estruturado para a implementação de uma abordagem integrada de gestão de informação em uma empresa de construção modular industrial em Portugal, com enfoque nas fases de design e produção dos módulos. A investigação propõe não apenas a revisão do fluxo de trabalho existente, mas também o desenvolvimento de uma metodologia de implementação que integra as dimensões organizacionais e metodológicas do trabalho, complementada pela criação de ferramentas práticas de apoio. Pretende-se, assim, oferecer estratégias concretas que auxiliem as empresas na navegação do processo de transição digital, promovendo uma adoção progressiva, estruturada e alinhada às normas internacionais e às necessidades operacionais do setor.

Os contributos esperados desta investigação situam-se tanto no domínio académico como na aplicação industrial. Do ponto de vista científico, o estudo contribui para a compreensão da integração do BIM na construção modular, propondo uma abordagem metodológica replicável. Do ponto de vista prático, fornece orientações estratégicas e operacionais que podem ser adaptadas por empresas com níveis de maturidade digital variados.

O artigo encontra-se estruturado da seguinte forma: após esta introdução, apresenta-se a metodologia de investigação adotada. Segue-se o diagnóstico do estado atual da empresa em estudo, com base no mapeamento do fluxo de trabalho tradicional. Posteriormente, apresenta-se a proposta de um novo fluxo de trabalho digital. Em seguida, descreve-se a metodologia de implementação do fluxo de trabalho proposto, abrangendo as dimensões organizacionais,

metodológicas e tecnológicas. Por fim, são discutidas as lições replicáveis e são apresentadas as conclusões do estudo.

2. Metodologia

A investigação desenvolvida neste estudo adota uma abordagem qualitativa de natureza aplicada, com o estudo de caso como método principal. Esta opção justifica-se pela necessidade de compreender em profundidade os processos, os fluxos de informação e as práticas organizacionais associados ao dimensionamento e ao projeto na construção modular industrial, bem como de desenvolver e testar uma proposta de fluxo de trabalho BIM adaptada a um contexto real.

A metodologia de investigação é composta por quatro etapas principais. A primeira envolve o levantamento e o mapeamento do fluxo de trabalho existente, realizados por meio de análise documental, observação direta dos processos e reuniões técnicas com os intervenientes-chave. Esse mapeamento permite compreender a sequência de atividades, as ferramentas empregadas, os responsáveis por cada fase e os mecanismos de troca de informações existentes.

Na segunda etapa, foi realizado um diagnóstico crítico do estado atual, identificando ineficiências relacionadas à fragmentação da informação, ao retrabalho e às limitações de interoperabilidade entre disciplinas e softwares. Esta análise constituiu a base para a definição dos requisitos funcionais e informacionais necessários à revisão do fluxo de trabalho.

A terceira etapa corresponde ao desenvolvimento da proposta de fluxo de trabalho revisto, fundamentada nos princípios da metodologia BIM e em normas internacionais relevantes, nomeadamente a ISO 19650, ISO 23386, ISO 23387 e ISO 16739. Nesta fase, foram definidos os princípios do novo fluxo, os requisitos de informação por etapa e disciplina, bem como a metodologia de implementação, abrangendo as dimensões organizacionais, metodológicas e tecnológicas.

Por fim, a quarta etapa consistiu na análise conceptual da metodologia proposta, por meio de sua análise crítica, reflexão sobre as lições aprendidas e sobre o seu potencial de replicação. Embora o estudo não inclua uma implementação completa em ambiente produtivo, a metodologia foi avaliada quanto à sua coerência interna, ao alinhamento com as práticas industriais e à capacidade de responder aos desafios identificados no diagnóstico inicial.

Esta abordagem metodológica permite contribuir simultaneamente para a compreensão académica da integração do BIM na construção modular e para a aplicação prática, ao propor um modelo estruturado e adaptável para a implementação de fluxos de trabalho BIM em empresas com recursos e maturidade digital variáveis.

3. Diagnóstico do fluxo de trabalho existente

O estudo de caso incide sobre uma empresa portuguesa de construção modular industrial que atua de forma integrada ao longo de todo o ciclo de desenvolvimento do empreendimento, abrangendo as fases de design, preparação da construção modular, fabrico e construção. Esta abordagem integrada permite à empresa controlar internamente os principais processos técnicos e produtivos, mas também aumenta a complexidade da gestão da informação e da coordenação entre equipas.

A empresa organiza suas atividades em equipas especializadas, vinculadas a cada etapa do processo. O mapa de processos desenvolvido neste estudo identifica as equipas envolvidas em cada fase e suas interações, mostrando como as atividades são planeadas, executadas e validadas ao longo do fluxo de trabalho existente, como ilustrado na Figura 1. A equipa de Design é responsável por adaptar o modelo de arquitetura não-modular para uma arquitetura modular, utilizando modelos CAD 2D, bem como por validar estruturalmente os módulos propostos por meio de softwares especializados. A equipa de Desenho cria os modelos 3D BIM de todas as disciplinas e produz peças desenhadas para fabrico e construção. A equipa de Fabrico recebe as peças desenhadas para fabrico e, a partir desses documentos, cria os modelos de fabrico em softwares próprios, com precisão adequada à manufatura. Após o fabrico dos módulos, esses são enviados à obra. Esse mapeamento permitiu compreender a sequência real das operações, os pontos de transição entre fases e os mecanismos utilizados para troca de informações.

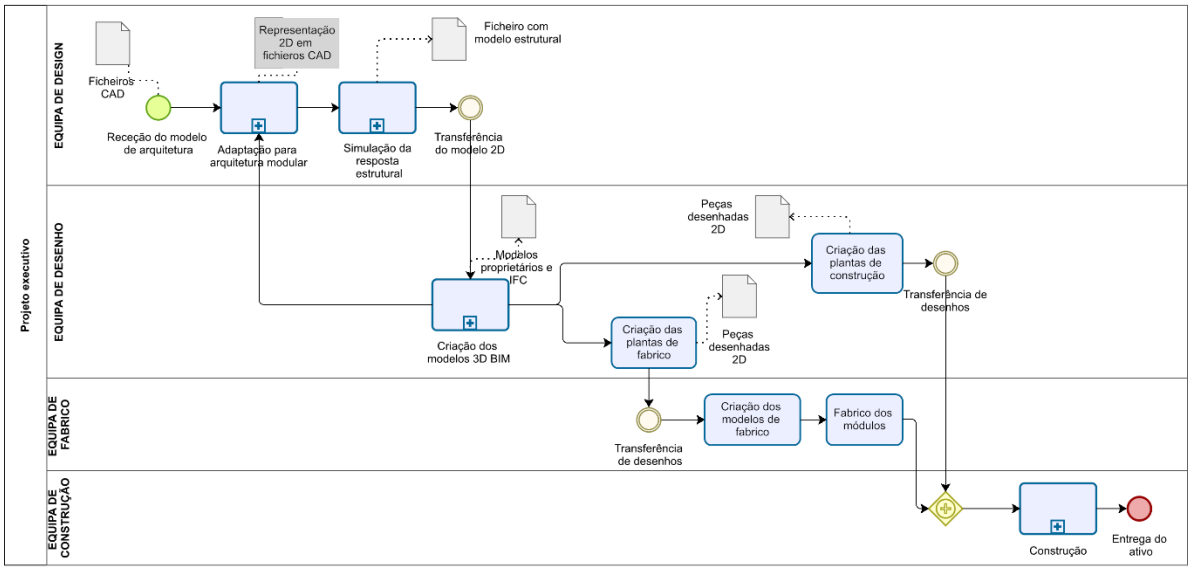


Figura 1: Fluxo de trabalho existente.

A análise do fluxo de trabalho existente evidenciou que os principais desafios estão relacionados à falta de linearidade do processo, frequentemente marcada por ciclos de iteração não planeados entre fases, decorrentes de alterações tardias e de informações incompletas. Adicionalmente, a utilização de softwares distintos, sem interoperabilidade direta, contribui para a fragmentação da informação, exigindo conversões manuais e aumentando o risco de inconsistências entre modelos e documentos. Outro problema identificado diz respeito à falta de colaboração estruturada entre as equipas, que operam de forma relativamente isolada, com trocas de informação pontuais e pouco sistematizadas. Esta abordagem dificulta a coordenação multidisciplinar, aumenta o retrabalho e compromete a eficiência global do processo, o que evidencia a necessidade de um fluxo de trabalho digital integrado, conforme proposto na seção seguinte.

4. Proposta de fluxo de trabalho revisto

4.1 Princípios e objetivos do fluxo revisto

Com base no diagnóstico do fluxo de trabalho existente apresentado na seção anterior, foi desenvolvida uma proposta de fluxo de trabalho digital revisto, orientada à digitalização integrada dos processos de dimensionamento e projeto na construção modular industrial. Esta proposta tem como principal objetivo mitigar as ineficiências identificadas, promovendo uma comunicação mais fluida entre os intervenientes, reduzindo o retrabalho e aprimorando a interoperabilidade entre as ferramentas digitais, de modo a propor um fluxo de trabalho mais otimizado.

O fluxo de trabalho proposto baseia-se nos princípios fundamentais da metodologia BIM, nomeadamente na centralização da informação num modelo digital partilhado, na colaboração multidisciplinar e na utilização consistente de dados ao longo de todo o ciclo de desenvolvimento do projeto. Ao contrário do processo tradicional, caracterizado pela fragmentação da informação e pela troca de ficheiros não estruturados, o novo fluxo privilegia a continuidade digital e a rastreabilidade das decisões técnicas.

4.2 Descrição do fluxo de trabalho revisto

O fluxo de trabalho revisto é ilustrado na Figura 2. A proposta sugere a utilização do modelo digital em todas as etapas do projeto, desde a conceção inicial até ao dimensionamento e à preparação para a produção modular, definindo de forma clara os requisitos de informação nas etapas e disciplinas envolvidas. A utilização de um modelo digital partilhado permite o seu enriquecimento contínuo, além de facilitar a manutenção do grau de normalização e do controlo técnico adequado.

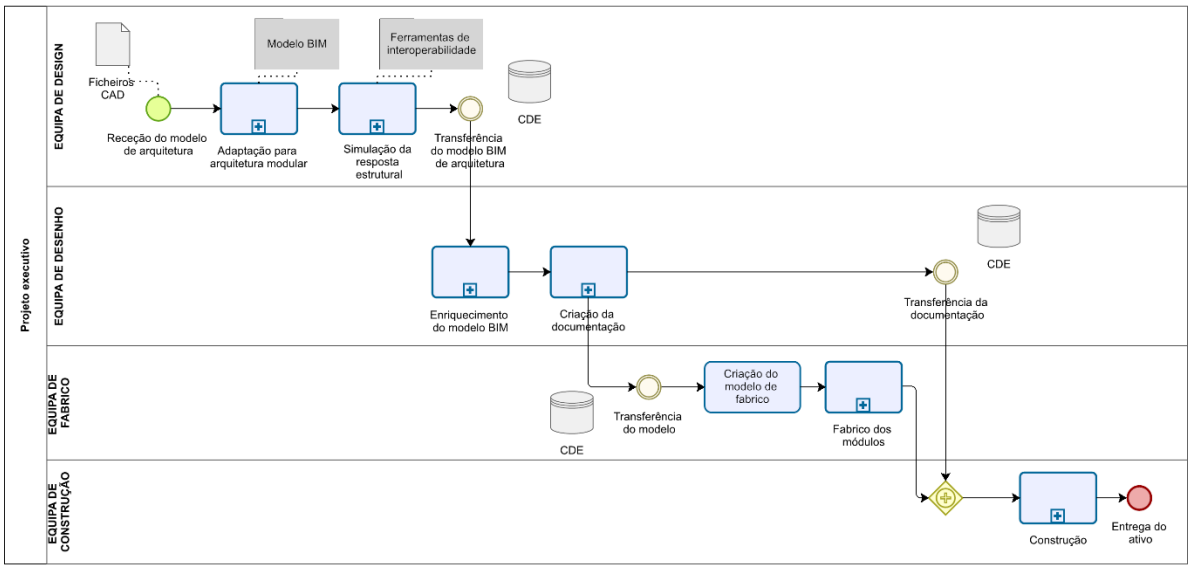


Figura 2: Fluxo de trabalho proposto.

Adicionalmente, são definidos momentos-chave para a validação e a coordenação dos modelos, recorrendo a formatos interoperáveis e ao ambiente comum de dados (Common Data

Environment – CDE). Esta abordagem visa garantir a consistência da informação, minimizar conflitos e facilitar a transição da informação entre as fases de projeto, fabrico e construção.

5. Metodologia de Implementação do BIM

A implementação eficaz do fluxo de trabalho BIM proposto requer uma abordagem estruturada que vá além da mera adoção de novas ferramentas digitais. Neste sentido, foi desenvolvida uma metodologia de implementação que integra dimensões organizacionais, metodológicas e tecnológicas, adaptadas à realidade das empresas de construção modular industrial. Uma vista geral do framework desenvolvido é apresentada na Figura 3. Nas seções seguintes, cada dimensão é discutida em detalhe.

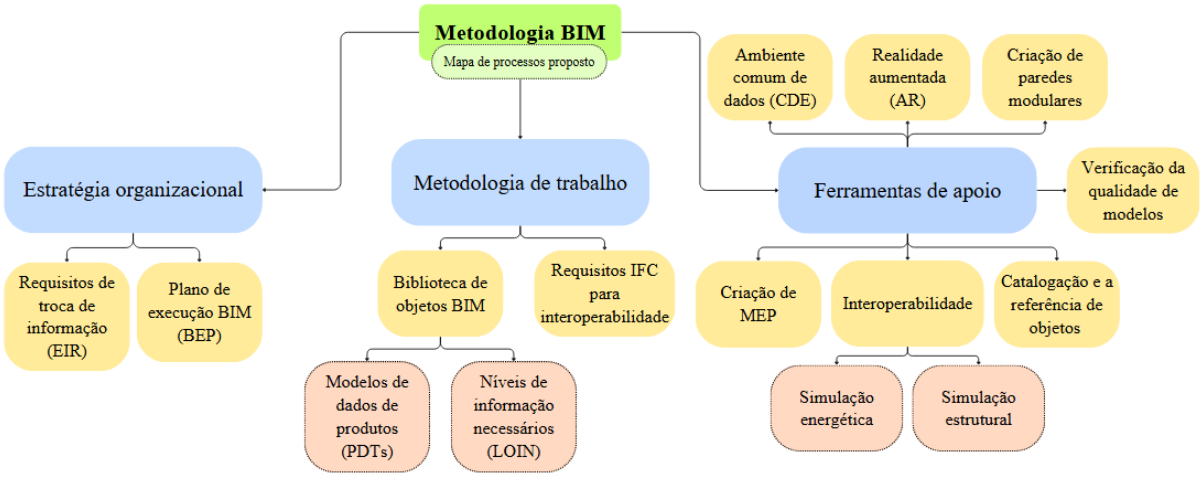


Figura 3: Framework de implementação da metodologia BIM.

5.1 Estratégia organizacional

A metodologia organizacional proposta tem como eixo central a aplicação prática do novo mapa de processos. Este mapa constitui o elemento estruturante da implementação do BIM, permitindo alinhar a organização interna, os fluxos de informação e as responsabilidades dos intervenientes ao fluxo de trabalho digital revisto. Esse mapa serviu de base para a elaboração de um documento de Requisitos de Troca de Informação (Exchange Information Requirements – EIR), conforme definido na ISO 19650, adaptando os requisitos contratuais e internos à realidade operacional da empresa. O EIR estabelece que a informação deve ser produzida, por quem, com que nível de detalhe e em que momento do processo, garantindo interoperabilidade e rastreabilidade.

A partir do EIR, é desenvolvido o Plano de Execução BIM pré-contratual e contratual (BIM Execution Plan – BEP), que operacionaliza o mapa de processos e orienta a execução BIM nos projetos. O BEP define a estrutura organizacional BIM, os usos BIM adotados, os fluxos de comunicação e os procedimentos de coordenação, assegurando a integração entre projeto, dimensionamento e produção modular. A articulação entre mapa de processos, EIR e BEP cria uma base organizacional sólida, promovendo a adoção controlada do BIM, a melhoria da comunicação entre disciplinas e a redução de retrabalho, em conformidade com as boas práticas internacionais da ISO 19650.

5.2 Metodologia de trabalho

No que respeita à metodologia de trabalho da empresa, a proposta incide na normalização dos processos e na definição de procedimentos claros para a criação, partilha e validação da informação. São estabelecidos protocolos de modelação, nomenclatura e troca de dados, alinhados às normas e boas práticas BIM, de modo a assegurar a coerência e a qualidade da informação produzida. Um dos elementos centrais é a criação de uma biblioteca de objetos BIM estruturada, contendo elementos construtivos parametrizados e organizados por categorias, permitindo a reutilização eficiente e a normalização do modelo digital. Para cada objeto relevante da biblioteca, são definidos requisitos de informação específicos, alinhados ao EIR da empresa, que determinam os atributos e o nível de informação necessário (Level of Information Need – LOIN) em cada fase do projeto. Esta abordagem assegura que a informação produzida atenda às necessidades de projeto, fabrico e construção, reduzindo inconsistências e evitando informações desnecessárias.

A metodologia inclui ainda a criação de modelos de dados de produtos (Product Data Template - PDT) baseados nas ISO 23386 e 23387, estruturados para representar corretamente as características físicas, funcionais e paramétricas dos objetos, integrando-os de forma coerente no modelo BIM global. Por fim, são definidos os requisitos IFC para cada objeto, garantindo a interoperabilidade entre diferentes softwares de projeto, análise e fabrico, em conformidade com os padrões abertos da indústria.

5.3 Desenvolvimento de ferramentas de apoio

O desenvolvimento de ferramentas de apoio visa facilitar a implementação do fluxo de trabalho revisto e otimizar as tarefas de modelação, coordenação e fabrico na construção modular industrial. Estas ferramentas foram concebidas para atuar em múltiplos níveis, desde a automatização de tarefas repetitivas até à integração avançada de dados multidisciplinares. A automatização de processos permite reduzir retrabalho e aumentar a eficiência em tarefas recorrentes, como a geração de documentação, a coordenação de modelos e a verificação de consistência.

O uso de um Common Data Environment (CDE) garante a centralização, a rastreabilidade e a gestão de versões de todos os modelos e documentos, promovendo uma colaboração estruturada entre as diferentes equipas. Já as ferramentas de suporte à visualização avançada incluem aplicações de realidade aumentada (AR) e permitem a sobreposição do modelo digital ao ambiente físico, facilitando a verificação in situ do processo de fabrico, bem como a comunicação de alterações entre os diversos intervenientes.

No domínio do design e fabrico, foram desenvolvidas ferramentas específicas para otimizar certas tarefas, tais como um plugin para facilitar a criação de paredes modulares, automatizando a criação de layouts em conformidade com os pré-requisitos técnicos. Foi desenvolvida uma ferramenta para a catalogação e a referência de objetos no modelo, garantindo a consistência e a rastreabilidade de todos os elementos até a fase de construção. Além de um plugin para apoio à criação de modelos MEP, visando à produção de designs adequados para a construção modular.

No que se refere à interoperabilidade entre diferentes disciplinas e software, foram criados protocolos e ferramentas facilitadoras, como uma ferramenta que permite a integração entre modelos BIM e modelos de desempenho energético. Foi definido um protocolo para promover a compatibilidade entre o modelo físico e o modelo analítico, simplificando o processo de simulação da resposta estrutural. Por fim, protocolo e ferramentas de suporte à verificação da

qualidade do modelo foram propostos para garantir a conformidade com os requisitos de informação e as normas internas da empresa, como é o caso do IDS.

6. Lições replicáveis e Conclusões

A metodologia de implementação de BIM apresentada neste estudo demonstra que a transformação digital na construção modular industrial deve ser abordada de forma sistémica, integrando as dimensões organizacionais, metodológicas e tecnológicas. Um dos principais ensinamentos replicáveis reside na adoção do mapa de processos como ponto de partida para a implementação do BIM, o que permite alinhar os fluxos de informação e as responsabilidades organizacionais antes da introdução de ferramentas digitais. Esta abordagem reduz a dependência de soluções tecnológicas isoladas e promove uma adoção mais consistente e sustentável.

A formalização dos Requisitos de Troca de Informação (EIR), adaptados à realidade interna da empresa e alinhados à ISO 19650, revelou-se essencial para garantir a coerência, a rastreabilidade e a interoperabilidade da informação. A articulação entre o EIR e o Plano de Execução BIM (BEP) constitui uma prática replicável, pois assegura que os objetivos estratégicos da empresa se traduzam em procedimentos operacionais claros, facilitando a coordenação entre projeto, dimensionamento e produção modular.

Ao nível da metodologia de trabalho, a criação de uma biblioteca de objetos BIM estruturada, associada à definição de requisitos de informação com base no Level of Information Need (LOIN), demonstrou ser fundamental para controlar a qualidade e a relevância da informação produzida. A utilização de modelos de dados de produtos (PDT) baseados nas normas ISO 23386 e ISO 23387 constitui uma lição particularmente relevante para contextos industriais, ao permitir a padronização e reutilização da informação dos componentes ao longo de diferentes projetos. A definição explícita dos requisitos IFC reforça a interoperabilidade e reduz as dependências de software proprietário, tornando a metodologia aplicável a diferentes contextos empresariais.

O desenvolvimento de ferramentas de apoio orientadas às necessidades reais do processo produtivo, em vez de soluções genéricas, evidencia outra lição replicável. A automatização de tarefas, o uso estruturado de um CDE, a aplicação de realidade aumentada e o desenvolvimento de plugins específicos para design modular, MEP e catalogação de objetos contribuíram para a integração efetiva entre projeto e fabrico. Adicionalmente, a definição de protocolos de interoperabilidade para análise energética, simulação estrutural e verificação da qualidade do modelo, incluindo o uso de IDS, reforça a importância de mecanismos de controlo e de validação da informação.

Em conclusão, este estudo contribui para a literatura e para a prática industrial ao propor uma metodologia BIM adaptada à construção modular, baseada em normas internacionais e orientada à operacionalização dos processos. As lições identificadas demonstram que a adoção bem-sucedida do BIM depende menos da sofisticação das ferramentas e mais da clareza dos processos, dos requisitos de informação e da integração entre as disciplinas. A metodologia proposta é passível de replicação e adaptação por outras empresas do setor, constituindo uma base sólida para futuras investigações e para a evolução da maturidade BIM na construção modular industrial.

Agradecimentos

Este trabalho foi financiado pelo PRR (Plano de Recuperação e Resiliência) e pelos Fundos Europeus Next Generation EU, ao abrigo do sistema de incentivos «Agendas para a Inovação Empresarial», no âmbito do projeto "R2U Technologies|modular systems", com a referência C644876810-00000019. Este trabalho foi também apoiado pela FCT/MCTES no âmbito da Unidade de I&D Instituto para a Sustentabilidade e Inovação em Estruturas de Engenharia (ISISE), com as referências UID/4029/2025 (https://doi.org/10.54499/UID/04029/2025) e UID/PRR/04029/2025 (https://doi.org/10.54499/UID/PRR/04029/2025), e no âmbito do Laboratório Associado Produção Avançada e Sistemas Inteligentes ARISE com a referência LA/P/0112/2020.

Referências

[1] R. M. Prakash, C. Teng Ng, and J. Wen Thong, "Current Practice of Building Information Modelling (BIM) and Radio Frequency Identification (RFID) for Modular Construction: A Systematic Review," IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci., vol. 1577, no. 1, p. 012016, Dec. 2025, doi: 10.1088/1755-1315/1577/1/012016.

[2] S. U. Rehman, I. Kim, and J. Choi, "Data-driven integration framework for four-dimensional building information modeling simulation in modular construction: a case study approach," J. Comput. Des. Eng., vol. 10, no. 6, pp. 2288–2311, Nov. 2023, doi: 10.1093/jcde/qwad100.

[3] C. M. . Eastman, Rafael. Sacks, Ghang. Lee, and P. M. . Teicholz, BIM handbook : a guide to building information modeling for owners, designers, engineers, contractors, and facility managers. Wiley, 2018.

[4] M. Q. Vargas, A. Briga-Sá, D. Boer, M. K. Najjar, and A. N. Haddad, "Integrating Off-Site Modular Construction and BIM for Sustainable Multifamily Buildings: A Case Study in Rio de Janeiro," Sustainability, vol. 17, no. 17, p. 7791, Aug. 2025, doi: 10.3390/su17177791.

[5] R. He, M. Li, V. J. L. Gan, and J. Ma, "BIM-enabled computerized design and digital fabrication of industrialized buildings: A case study," J. Clean. Prod., vol. 278, p. 123505, Jan. 2021, doi: 10.1016/j.jclepro.2020.123505.

[6] R. E. . Smith, Prefab architecture : a guide for architects and construction professionals. Wiley, 2011.

[7] M. Yoo, J. Kim, and C. Choi, "Effects of BIM-Based Construction of Prefabricated Steel Framework from the Perspective of SMEs," Applied Sciences, vol. 9, no. 9, p. 1732, Apr. 2019, doi: 10.3390/app9091732.

[8] Y. Liu, M. Li, B. C. L. Wong, C. M. Chan, J. C. P. Cheng, and V. J. L. Gan, "BIM-BVBS integration with openBIM standards for automatic prefabrication of steel reinforcement," Autom. Constr., vol. 125, p. 103654, May 2021, doi: 10.1016/j.autcon.2021.103654.

[9] K. Li, V. J. L. Gan, M. Li, M. Y. Gao, R. L. K. Tiong, and Y. Yang, "Automated generative design and prefabrication of precast buildings using integrated BIM and graph convolutional neural network," Developments in the Built Environment, vol. 18, p. 100418, Apr. 2024, doi: 10.1016/j.dibe.2024.100418.

12345

CONTROLO DO PROGRESSO DA MONTAGEM DE PAINÉIS SANDWICH COM O APOIO DE VISÃO COMPUTACIONAL, IA E BIM

Edgar Mendez, Nelson Silva, Diogo Ribeiro, Ricardo Santos, Pedro Oliveira

ptBIM

CONTROLO DO PROGRESSO DA MONTAGEM DE PAINÉIS SANDWICH COM O APOIO DE VISÃO COMPUTACIONAL, IA E BIM

Edgar Mendez [(1)], Nelson Silva [(1)], Diogo Ribeiro [(2,3)], Ricardo Santos [(2,3)], Pedro Oliveira [(2)]

(1) Instituto Superior de Engenharia do Porto, Porto, Portugal
(2) iBuilt, Instituto Superior de Engenharia do Porto, Porto, Portugal
(3) CONSTRUCT – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal

Resumo
O presente trabalho apresenta uma abordagem integrada em ambiente BIM (*Building Information Modelling*) para o controlo do progresso construtivo, recorrendo a técnicas de Inteligência Artificial (IA) e visão computacional (VC). O principal objetivo consiste em desenvolver e validar uma metodologia de monitorização da montagem de painéis *sandwich*, garantindo uma correlação precisa entre o planeamento previsto e o estado efetivo da execução. A proposta assenta na recolha sistemática de imagens de estaleiro, processadas por um algoritmo de deteção baseado na arquitetura YOLOv8, capaz de identificar e classificar etiquetas impressas nos painéis. Os dados obtidos são integrados num modelo BIM através de *scripts* de automação, permitindo a atualização dinâmica da informação e a visualização tridimensional do progresso da obra.
O caso de estudo desenvolvido no âmbito do projeto CRIARTE demonstra a aplicabilidade da metodologia em contexto real, evidenciando a robustez do sistema em ambiente de obra e o seu potencial de integração futura com sistemas de georreferenciação e montagem robotizada. A abordagem contribui para mitigar a escassez de mão de obra qualificada e para reforçar a segurança dos trabalhadores, promovendo a automação inteligente e a modernização do setor da construção civil.

1. Introdução

A indústria da Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC) enfrenta desafios crescentes relacionados com a produtividade, a escassez de mão de obra qualificada e a necessidade de digitalização dos processos. Neste contexto, a metodologia BIM (*Building Information Modelling*) afirmou-se como uma ferramenta central para a gestão de informação ao longo do ciclo de vida dos edifícios. Contudo, a monitorização do progresso em obra permanece, frequentemente, um processo manual, sujeito a erros e desfasado da realidade digital do projeto. O surgimento de tecnologias disruptivas, como a Inteligência Artificial (IA) e a Visão Computacional (VC), oferece novas oportunidades para automatizar este controlo. O presente

artigo insere-se no âmbito do Projeto CRIARTE, cujo foco é a construção robotizada com painéis *sandwich* e a arquitetura de tecnologias emergentes. O trabalho propõe um sistema que interliga a captura da realidade (através de imagens) com o modelo BIM, permitindo verificar automaticamente quais os elementos que já foram instalados em obra.
Esta abordagem visa não só otimizar o controlo de gestão, mas também criar as bases digitais necessárias para suportar futuros sistemas robóticos de montagem autónoma [1].

2. Metodologia

A literatura menciona várias experiências de controlo progressivo em obra recorrendo a técnicas semelhantes baseadas em visão computacional [2], [3]. Em poucos exemplos, no entanto, a aplicação da visão computacional se baseia na aquisição de imagens recorrendo a UAV's [4].
A metodologia adotada no presente estudo, assenta numa abordagem aplicada e experimental, com o objetivo de avaliar a viabilidade da integração da metodologia BIM com técnicas de IA para o reconhecimento e acompanhamento da montagem de painéis *sandwich* em edifícios industriais. O estudo articula modelação digital, VC e atualização automática da informação em ambiente BIM, inspirando-se nos desenvolvimentos em curso no âmbito do Projeto CRIARTE.

2.1 Enquadramento

O trabalho desenvolveu-se em quatro fases: (i) conceção e modelação BIM dos objetos de estudo, (ii) desenvolvimento e treino de um algoritmo para deteção numérica do número dos painéis, (iii) validação da metodologia em ambiente controlado com recurso a um protótipo físico, e (iv) adaptação e simulação do processo num contexto virtual de projeto, com atualização automática do modelo BIM.
Esta abordagem permitiu testar a aplicabilidade prática da metodologia fora do ambiente laboratorial, avaliando simultaneamente as suas limitações e potencialidades em contexto de obra [5].

2.2 Modelação BIM do edifício de estudo

Numa primeira fase, procedeu-se à modelação tridimensional de um protótipo de uma pequena torre de pequena dimensão, recorrendo ao *software* Autodesk Revit, amplamente utilizado no setor AEC e compatível com a metodologia BIM (Figura 1). Este modelo foi desenvolvido em consonância com o protótipo desenvolvido no Projeto CRIARTE.
Posteriormente, desenvolveu-se o modelo de um edifício industrial, que serviu de teste e controlo às aplicações com recurso a IA para simulação do contexto progressivo de uma obra (Figura 2Figura 2).
A modelação foi realizada com um nível de desenvolvimento equivalente a LOD 300 considerado adequado à análise pretendida, garantindo a correta representação geométrica dos elementos e a incorporação da informação necessária para a identificação individual dos painéis. Os painéis *sandwich* foram modelados individualmente e numerados através do parâmetro "*Mark*", condição essencial para permitir a correspondência entre os elementos físicos (ou simulados) e os elementos digitais do modelo BIM [1], [5].



Figura 1: Estrutura protótipo do CRIARTE [1]

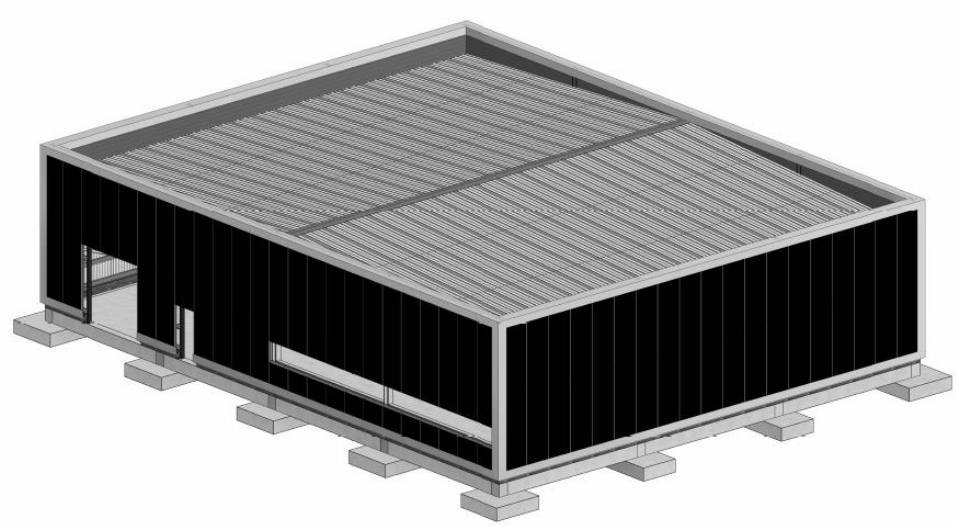


Figura 2: Modelo utilizado para simulação de ambiente de obra [5]

2.3 Aquisição e preparação dos dados para IA

Para o desenvolvimento do sistema de reconhecimento visual, recorreu-se a imagens captadas por um veículo aéreo não tripulado (UAV – *Unmanned Aerial Vehicle*), durante a montagem de painéis *sandwich* no protótipo do Projeto CRIARTE. O registo fotográfico resultou num conjunto de imagens, que inicialmente foram usadas para a criação de um *dataset* de Treino.

A anotação das imagens foi realizada manualmente na plataforma Roboflow, através da definição de *bounding boxes* associadas aos algarismos identificadores dos painéis. Após a anotação, aplicaram-se técnicas de *data augmentation*, com o objetivo de aumentar a robustez do modelo e a diversidade do *dataset*, o que resultou num aumento significativo do número de imagens, distribuídas em conjuntos de treino, validação e teste [6], [7].

2.4 Treino e validação do modelo de IA

O modelo de treino escolhido foi o YOLOv8 (*You Only Look Once*), dada a sua elevada eficiência em tarefas de deteção de objetos em tempo real. O treino foi realizado em ambiente Python, utilizando o editor *Visual Studio Code* (VSCode) e aceleração por GPU.
A avaliação do desempenho do modelo foi efetuada com base em métricas padrão, nomeadamente o *mean Average Precision* (mAP@50), sendo possível determinar uma percentagem de precisão na deteção e classificação dos algarismos identificadores dos painéis. Posteriormente, realizaram-se inferências em imagens não utilizadas no treino, de modo a validar a generalização do modelo [6], [7], [8], [9].

2.5 Integração dos resultados no modelo BIM

Os resultados das inferências foram exportados para um ficheiro no formato *.csv*, contendo a listagem dos painéis identificados. Este ficheiro serve de base para a atualização automática do modelo BIM.
Para essa integração, foi desenvolvido um *script* em Python, executado através do *add-on* pyRevit, que permite a interação direta com o ambiente do Revit. O *script* compara os identificadores presentes no ficheiro *.csv* com o parâmetro "*Mark*" dos painéis modelados e atualiza um parâmetro adicional, designado "Montado", com valores "Sim" ou "Não".
Foram ainda configurados filtros de visualização no Revit, permitindo ocultar os painéis não montados e destacar visualmente os painéis montados, através da aplicação de contornos a verde tal como apresentado na Figura 3. Esta estratégia possibilita a leitura imediata do estado de execução da fachada diretamente no modelo BIM [1], [5].

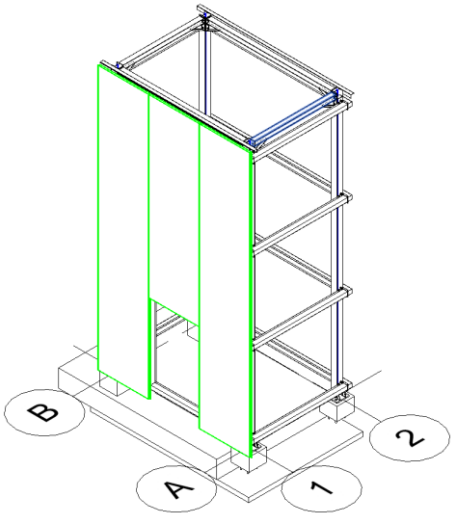


Figura 3: Modelo do CRIARTE atualizado com painéis montados [1]

3. Sistema de Controlo de Progresso com IA

3.1 Construção e caracterização do *dataset*

O desenvolvimento de um sistema fiável de controlo de progresso baseado em IA depende, de forma determinante, da qualidade e adequação do *dataset* utilizado no treino dos modelos de

VC. No presente estudo, o *dataset* foi construído especificamente para o reconhecimento automático de painéis *sandwich*, mais concretamente dos seus identificadores numéricos, aplicados nos elementos construtivos durante a fase de montagem.
A aquisição dos dados foi realizada em ambiente controlado, recorrendo a um UAV para o registo fotográfico do protótipo desenvolvido no âmbito do Projeto CRIARTE. As imagens captadas representam diferentes perspetivas, distâncias e condições de iluminação da estrutura metálica e dos painéis instalados, assegurando diversidade visual suficiente para o treino do modelo (Figura 4). No total, foram recolhidas 431 imagens originais, que constituíram a base inicial do *dataset*.



Figura 4: Painéis *sandwich* montados no demonstrador com identificação numérica visível [1]

Uma vez que não foi identificado um *dataset* público que respondesse adequadamente às especificidades do caso de estudo — nomeadamente a identificação de algarismos aplicados em painéis sandwich em contexto real de obra — procedeu-se à anotação manual das imagens. Este processo foi realizado na plataforma Roboflow, através da criação de *bounding boxes* associadas aos algarismos visíveis em cada painel, garantindo uma correspondência rigorosa entre os dados visuais e as respetivas classes.
Com o objetivo de melhorar a capacidade de generalização do modelo e reduzir o risco de *overfitting*, foram aplicadas técnicas de *data augmentation*. Estas incluíram rotações horizontais e verticais, bem como variações de brilho das imagens e das *bounding boxes*, permitindo simular diferentes condições de captura frequentemente encontradas em ambiente de obra. Após este processo, o *dataset* foi ampliado para um total de 1047 imagens, distribuídas em conjuntos de treino (70%), validação (15%) e teste (15%) [1], [5], [9].

3.2 Modelo de IA para reconhecimento visual

Para a deteção automática dos números dos painéis, foi adotado um modelo baseado na arquitetura YOLOv8, reconhecida pela sua elevada eficiência em tarefas de deteção de objetos em tempo real. O modelo foi treinado utilizando a linguagem de programação Python, com suporte de aceleração por GPU e resolução fixa das imagens a 1024x1024px.
O processo de treino decorreu ao longo de aproximadamente 100 épocas, tendo sido monitorizado com a métrica *mean Average Precision* a 50% de intersecção (mAP@50) que apresentou um valor de 99,5%, evidenciando a elevada precisão do modelo na identificação dos algarismos associados aos painéis *sandwich* (Figura 5).



Figura 5: Imagem inferida [1]

Após o treino, o modelo foi submetido a testes de inferência utilizando imagens não incluídas no conjunto de treino, permitindo avaliar a sua capacidade de generalização e confirmar a robustez dos resultados obtidos [1], [5], [6], [8].

3.3 Sistema de controlo de progresso da construção

O sistema de controlo de progresso desenvolvido neste trabalho baseia-se na integração entre os resultados do reconhecimento visual por IA e os modelos BIM do protótipo de um edifício industrial modelado para servir como teste. A lógica do sistema assenta na comparação entre o estado real da obra e o planeamento digital previamente definido no modelo BIM.

Durante o processo de inferência, os painéis identificados pelo modelo YOLO são registados automaticamente e exportados num ficheiro no formato *.csv* (Figura 6), contendo a numeração associada a cada elemento detetado. Este ficheiro constitui o elo entre a camada de VC e o ambiente BIM.

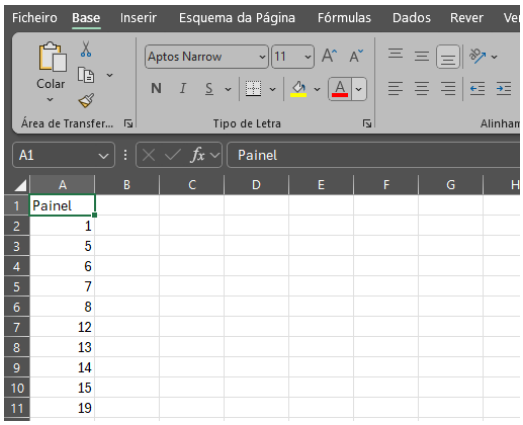


Figura 6: Registo em ficheiro .csv [5]

A atualização do progresso no modelo digital é realizada através de um *script* desenvolvido em Python, executado no Revit com recurso ao *add-on* pyRevit. O *script* procede à leitura do ficheiro *.csv* e compara os identificadores nele contidos com o parâmetro *"Mark"* dos painéis modelados. Em função dessa correspondência, é atualizado um parâmetro adicional, designado "Montado", com valores binários ("Sim" ou "Não"), refletindo o estado de execução de cada painel (Figura 7).

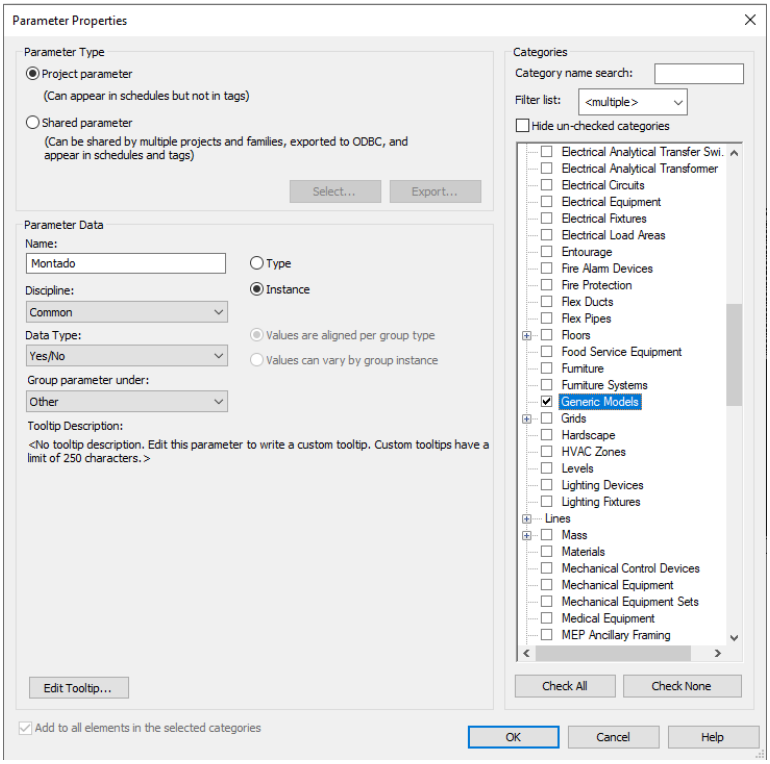


Figura 7: Configuração do parâmetro “Montado” [2]

Para facilitar a interpretação visual do progresso da obra, foram configurados filtros de visualização no Revit, permitindo ocultar automaticamente os painéis não montados e destacar os painéis montados através de contornos de cor diferenciada. Esta abordagem possibilita uma leitura imediata e intuitiva do estado da construção, sem necessidade de consulta de documentação adicional [5].

3.4 Validação e aplicação em contexto simulado

Dado que o edifício em estudo se encontra em fase de projeto, a validação do sistema de controlo de progresso foi realizada através de uma simulação. Para esse efeito, foi criado um ficheiro *.csv* representativo de um cenário de levantamento em obra, simulando os resultados que seriam obtidos através de campanhas fotográficas com UAV e reconhecimento automático através do modelo YOLO.

A aplicação do sistema ao modelo BIM permitiu confirmar a coerência e funcionalidade da metodologia proposta, demonstrando a capacidade de atualização automática do progresso da construção com base em dados externos. Apesar de não integrar, nesta fase, a componente robótica de montagem, o sistema desenvolvido constitui um passo relevante para a implementação de processos de acompanhamento de obra mais automatizados, precisos e alinhados com os princípios da Construção 4.0 e 5.0. [5]

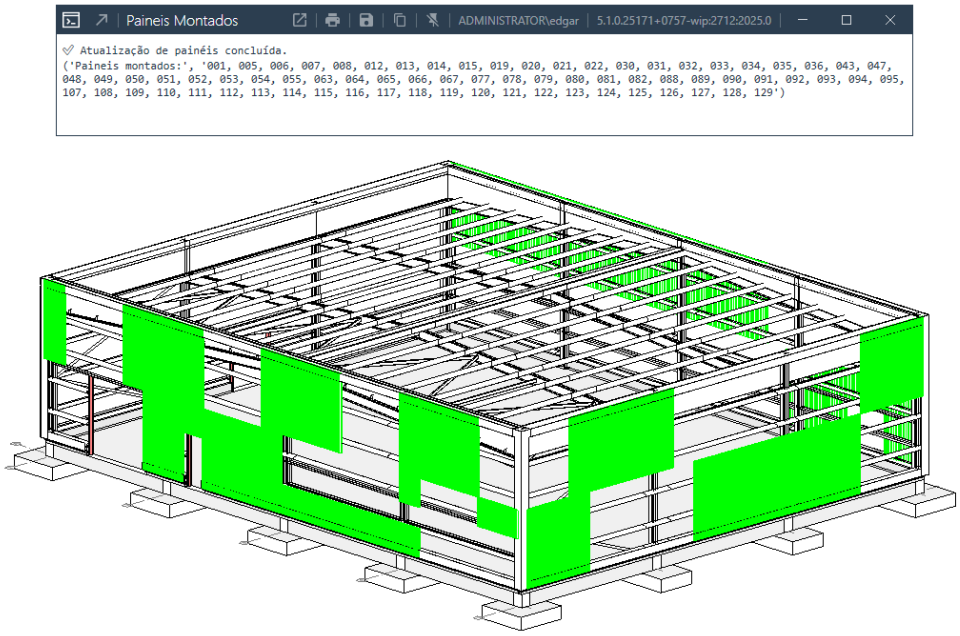


Figura 8: Resultado do modelo após execução da simulação [5]

4. Discussão

O recurso a imagens recolhidas com UAV's para controlo da evolução das construções, assume limitações, nomeadamente no processo de obtenção das imagens, inerentes à dependência de factores externos como condições climáticas e eventuais restrições de voo nos locais ou nas proximidades das construções, entre outras. Por outro lado, o recurso a estes equipamentos permite obter imagens de qualidade a partir dos melhores pontos de vista, não estando dependente de câmaras de vigilância ou outras, instaladas de modo fixo em estaleiro, com os inerentes condicionamentos de qualidade de imagem e limitações na visibilidade integral dos edifícios em processo construtivo. Soluciona-se ainda o problema do desgaste normalmente acelerado deste tipo de câmaras em ambiente de obra. Asseguram-se ainda problemas de escalabilidade no processo de captura de imagens, ao depender de um sistema que, em cada momento, se adapta à realidade evolutiva da construção. Os resultados obtidos ao longo do desenvolvimento do trabalho demonstram o potencial da integração entre a metodologia BIM e técnicas de IA para o controlo automático do progresso da construção, em particular no contexto da montagem de painéis *sandwich* em edifícios industriais. A elevada precisão alcançada pelo modelo de visão computacional, aliada à correta atualização do estado dos elementos no modelo BIM, evidencia a viabilidade técnica da abordagem proposta.
A utilização de um *dataset* específico, construído a partir de imagens reais captadas em ambiente controlado, revelou-se um fator determinante para o sucesso do sistema. A necessidade de proceder à anotação manual das imagens, embora morosa, permitiu garantir uma elevada qualidade dos dados de treino, refletindo-se diretamente no desempenho do modelo YOLOv8. Este resultado reforça a importância de *datasets* devidamente etiquetados em aplicações de IA na construção, onde as condições visuais e os elementos construtivos apresentam grande variabilidade.

No que respeita ao sistema de controlo de progresso, a ligação entre os resultados da inferência e o modelo BIM, através de parâmetros e filtros de visualização, mostrou-se eficaz e intuitiva. A possibilidade de visualizar, em tempo quase real, o estado de execução dos elementos construtivos constitui uma mais-valia significativa para a gestão de obra, reduzindo a dependência de inspeções manuais e relatórios desatualizados. Contudo, esta abordagem pressupõe uma modelação BIM rigorosa e consistente, nomeadamente ao nível da identificação individual dos elementos, o que pode representar um desafio adicional em projetos de maior escala ou com múltiplos intervenientes.
Apesar dos resultados positivos, importa salientar que a validação do sistema foi realizada maioritariamente em ambiente controlado e, no caso do edifício de estudo, através de uma simulação. Assim, fatores como condições atmosféricas adversas, oclusões visuais, variações extremas de iluminação ou interferências em estaleiro real não foram plenamente avaliados e poderão influenciar o desempenho do sistema em contextos reais de obra, devendo ser considerados em trabalhos futuros. [5]

5. Conclusões e trabalho futuro

O presente trabalho permitiu desenvolver e validar uma metodologia integrada para o controlo do progresso da construção, combinando modelação BIM e IA baseada em VC. A abordagem proposta demonstrou ser tecnicamente viável, evidenciando a capacidade de identificar automaticamente painéis *sandwich* e refletir o seu estado de montagem diretamente no modelo BIM, de forma clara e objetiva.
Os resultados obtidos confirmam que a utilização de modelos de deteção de objetos, como o YOLOv8, associada a *datasets* específicos e bem estruturados, constitui uma solução eficaz para aplicações de acompanhamento de obra. A integração com o ambiente BIM, através de *scripts* em Python e ferramentas como o pyRevit, mostrou-se uma estratégia flexível e adaptável, capaz de apoiar processos de tomada de decisão e melhorar a transparência da informação ao longo do ciclo de vida do projeto.
Apesar das limitações associadas ao tempo de desenvolvimento e à ausência de validação em obra real, considera-se que o trabalho realizado representa um contributo relevante para a investigação na área da Construção Digital, evidenciando o potencial da automação e da IA na modernização dos processos construtivos.
Como perspetivas de trabalhos futuros, destaca-se, em primeiro lugar, a aplicação da metodologia em contexto real de obra, permitindo avaliar o desempenho do sistema em condições operacionais mais exigentes. A integração com sistemas de georreferenciação e com o esquema IFC CRS (*Coordinate Reference System*) surge igualmente como um passo fundamental para garantir o alinhamento preciso entre o modelo digital e o ambiente físico, potenciando aplicações em realidade aumentada e robótica autónoma.
Adicionalmente, a extensão do sistema a outros elementos construtivos, bem como a incorporação de métricas temporais e de planeamento (BIM 4D), poderá permitir um controlo de progresso mais abrangente e integrado, de momento ainda não possível devido ao carácter exploratório da metodologia proposta. Espera-se que esta e outras metodologias subjacentes possam mais cabalmente ser confirmadas no decorrer das actividades propostas no âmbito do projecto CRIARTE em que este trabalho se insere. Por fim, a ligação direta entre o sistema de reconhecimento visual e plataformas de gestão de obra ou sistemas robóticos de montagem

representa um caminho promissor para a concretização de processos de construção verdadeiramente automatizados, alinhados com os princípios da Construção 5.0. [5]

Agradecimentos

Os autores agradecem o financiamento obtido no âmbito do projeto CRIARTE – Construção com Robótica Inteligente e Arquitetura Revolucionária de Tecnologias Emergentes (Refª COMPETE2030-FEDER-01192200), cofinanciado pelo Programa COMPETE 2030 e pelo Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (FEDER). Os autores agradecem igualmente o apoio da unidade de investigação UIDB/04708/2020 (DOI: 10.54499/UIDB/04708/2020) e do financiamento programático - UIDP/04708/2020 (DOI: 10.54499/UIDP/04708/2020), atribuídos ao CONSTRUCT - Instituto de I&D em Estruturas e Construções – financiados por fundos nacionais através da FCT/MCTES (PIDDAC).

Referências

[1] C. Hsieh, H. Chen, W. Chen, T. Wu, “Automated construction progress monitoring and control through AI-based image recognition and BIM integration”, Automation in Construction, 2026, https://doi.org/10.1016/j.autcon.2026.106783

[2] V. K. Reja, K. Varghese, Q. P. Ha, Computer vision-based construction progress monitoring, Automation in Construction, 2022, https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104245

[3] S. Gharib, O. Moselhi, "A review of Computer Vision-Based Techniques for Construction Progress Monitoring", Proceedings of the 40th ISARC, 2023, https://doi.org/10.22260/ISARC2023/0071

[4] CRIARTE, "CRIARTE", Criarte. Acedido: 26 de abril de 2025. [Online]. Disponível em: https://www.p2030criarte.com

[5] Edgar Mendez, Nelson Silva, "A Metodologia BIM associada ao progresso da montagem robotizada de painéis *sandwich* com o apoio de IA", ISEP - Instituto Superior de Engenharia do Porto, Porto, Relatório Final da u.c. Projeto Integrado, jul. 2025.

[6] FlyPix AI Team, "Image Recognition Algorithms: CNN, R-CNN, YOLO Explained", Flypix. Acedido: 13 de julho de 2025. [Online]. Disponível em: https://flypix.ai/blog/image-recognition-algorithms/

[7] P. M. Oliveira, "Mapeamento de anomalias na envolvente exterior de edifícios industriais com base em modelos tridimensionais fotogramétricos", Instituto Superior de Engenharia do Porto, Porto, 2024. [Online]. Disponível em: http://hdl.handle.net/10400.22/26758

[8] GeeksforGeeks, "Artificial Neural Networks and its Applications", GeeksforGeeks. Acedido: 13 de julho de 2025. [Online]. Disponível em: https://www.geeksforgeeks.org/artificial-intelligence/artificial-neural-networks-and-its-applications/

[9] "Roboflow: Computer vision tools for developers and enterprises". Acedido: 27 de junho de 2025. [Online]. Disponível em: https://roboflow.com

12345

DESENVOLVIMENTO DE UMA METODOLOGIA EM BIM PARA UMA EMPRESA DE CONSTRUÇÃO PRÉ-FABRICADA

Juliana Cotarelle, Thaís R. L. Soares, Miguel Azenha

ptBIM

DESENVOLVIMENTO DE UMA METODOLOGIA EM BIM PARA UMA EMPRESA DE CONSTRUÇÃO PRÉ-FABRICADA

Juliana Cotarelle[(1)], Thaís R. L. Soares [(2)], Miguel Azenha [(3)]

(1) Kronan – Inteligência Industrial Aplicada à Construção, Itupeva, Brasil.
(2) Universidade do Minho, ISISE, ARISE, Departamento de Engenharia Civil, Guimarães, Portugal, 0000-0001-9682-6883
(3) Universidade do Minho, ISISE, ARISE, Departamento de Engenharia Civil, Guimarães, Portugal, 0000-0003-1374-9427

Resumo
A adoção do Building Information Modelling (BIM) pelas pequenas e médias empresas (PME) permanece limitada, em grande medida, devido à ausência de fluxos de informação e de processos de trabalho devidamente estruturados, essenciais a uma metodologia assente na colaboração. Neste contexto, o presente trabalho teve como objetivo desenvolver e aplicar um mapa de processos baseado em BIM, alinhado com os princípios da norma ISO 19650, enquanto instrumento de organização dos fluxos de trabalho ao longo do ciclo de vida do projeto. Como estudo de caso, foi considerado o departamento de projetos de uma empresa de estruturas pré-fabricadas que opera no mercado brasileiro da construção civil. Com base no mapeamento e no redesenho dos processos em vigor no estudo de caso, a metodologia foi validada através da aplicação a um projeto piloto real. Os resultados evidenciam que a adoção do mapa de processos proposto contribuiu significativamente para a melhoria da consistência e da qualidade da informação, para a redução de retrabalho e para o reforço da coordenação interdisciplinar, bem como para a criação de condições favoráveis ao fortalecimento da implementação do BIM na organização. Em síntese, a principal contribuição deste trabalho reside na proposição de um modelo de mapeamento de processos replicável no contexto da construção pré-fabricada, oferecendo às PME uma abordagem prática e estruturada para o aumento da maturidade BIM, alinhada com a ISO 19650.

1. Introdução

Ao longo das últimas décadas, a indústria da Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC) tem sido profundamente transformada pelas tecnologias digitais, que alteraram os fluxos de trabalho desde a fase de conceção do projeto até à construção, manutenção e operação dos edifícios. Entre estas tecnologias, o Building Information Modelling (BIM) consolidou-se como uma inovação central, capaz de redefinir práticas de colaboração e de melhorar o desempenho na entrega de projetos. O BIM constitui uma metodologia multidisciplinar que integra dimensões

geométricas, informacionais e de gestão ao longo de todo o ciclo de vida do empreendimento [1].

Paralelamente à evolução digital, os sistemas construtivos pré-fabricados têm ganhado relevância como resposta aos desafios atuais enfrentados pelo setor, nomeadamente ao nível da produtividade, previsibilidade de custos, segurança e redução do desperdício de materiais. A produção de componentes em ambientes controlados, seguida da sua montagem em obra, permite reduzir prazos de execução, melhorar o controle de qualidade e minimizar desperdícios. Contudo, o sucesso da pré-fabricação depende de uma integração eficaz entre processos de trabalho, compatibilização de especialidades e fabrico das estruturas [2].

A complexidade da integração entre o BIM e a pré-fabricação torna-se ainda mais crítica no contexto das pequenas e médias empresas (PME), uma vez que este tipo de organização tende a enfrentar obstáculos como limitações orçamentais, escassez de profissionais especializados e resistência organizacional à mudança [3]. Consequentemente, muitas PME continuam a recorrer a fluxos de trabalho convencionais e fragmentados.

O presente trabalho procurou suprir esta dificuldade através do desenvolvimento de um framework baseado em BIM para uma PME brasileira do setor da construção pré-fabricada, alinhado com a norma ISO 19650 [4] e validado através de um projeto piloto. Os mapas de processos foram utilizados tanto para o diagnóstico do estado inicial da empresa como para a definição e reformulação dos fluxos de trabalho propostos, constituindo o principal instrumento de análise e intervenção.

Com base no mapa de processos desenvolvido, foram estruturados os fluxos de informação e definidos os principais artefactos de implementação, nomeadamente o Plano de Execução BIM (BEP) e os Requisitos de Troca de Informação (EIR), que formalizam responsabilidades, protocolos de colaboração e níveis de informação exigidos. De forma complementar, foi desenvolvido um objeto paramétrico protótipo de parede, com o objetivo de apoiar a estimativa de custos em contexto de construção pré-fabricada. A validação do modelo BIM incluiu a definição do processo de deteção de conflitos e dos Níveis de Necessidade de Informação, culminando na verificação do modelo através do Information Delivery Specification (IDS).

O presente artigo centra-se especificamente nos mapas de processos desenvolvidos enquanto instrumento-chave para o aumento da maturidade BIM da empresa e para a organização dos fluxos de trabalho do departamento de projetos do estudo de caso, visando constituir um exemplo de boas práticas na aplicação dos princípios da ISO 19650.

2. BIM para construção pré-fabricada

2.1 O papel do BIM na pré-fabricação de pequenas e médias empresas

As pequenas e médias empresas (PME) representam a maioria do tecido empresarial no setor da construção, correspondendo a cerca de 95% das empresas na Europa [5] e a 93,7% no Brasil [6] . Dada a sua expressiva representatividade e o seu papel enquanto principais agentes do setor, as práticas operacionais adotadas por estas empresas assumem um papel determinante no desempenho global da indústria.

Neste contexto, o BIM destaca-se como um contributo relevante para as PME de pré-fabricação, ao possibilitar o desenvolvimento de modelos digitais detalhados e promover uma coordenação mais precisa dos processos, mesmo em estruturas organizacionais com equipas reduzidas [1]. Contudo, a adoção do BIM por estas empresas permanece desigual. Barreiras como os elevados

custos iniciais de implementação, a resistência organizacional à mudança e as dificuldades de interoperabilidade entre modelos configuram desafios significativos, comprometendo a competitividade empresarial em termos de tempo e custo.
Com o objetivo de mitigar essas limitações, têm sido promovidas políticas públicas em diferentes níveis (global, continental e nacional), bem como programas de formação e a adoção de normas abertas, visando apoiar e incentivar a integração do BIM neste segmento empresarial [7].

2.2 Desafios na arquitectura e na pré-fabricação

A integração da construção pré-fabricada no projeto arquitetónico apresenta simultaneamente oportunidades e desafios. Embora contribua para ganhos de eficiência, qualidade e sustentabilidade, exige adaptações aos fluxos de trabalho tradicionais, promovendo maior modularidade, repetibilidade e coordenação técnica (Adeyemi et al., 2024; Zhang, 2024). A ausência de integração precoce dos requisitos estruturais e de fabrico no projeto conceptual gera frequentemente desalinhamentos, o que desencadeia alterações posteriores, aumento de custos e ineficiência do sistema [8].
Ao nível da modelação, os sistemas pré-fabricados exigem elevado grau de detalhe, incluindo tolerâncias, ligações e aspetos logísticos, o que aumenta a complexidade do modelo BIM e o volume de informação a gerir (Schreyer, 2018). O sucesso da pré-fabricação depende, assim, de processos normalizados, gestão eficiente da informação e coordenação intensiva antes da fase de montagem, sendo que alterações tardias podem comprometer significativamente prazos e desempenho [9].

2.3 Relações contratuais na construção pré-fabricada

Tradicionalmente, os contratos de construção seguem o modelo conceção-licitação-construção, o qual separa claramente as responsabilidades de projeto e construção. No entanto, este formato mostra-se inadequado para a pré-fabricação, onde projeto, fabrico, logística e montagem são interdependentes, podendo resultar em falhas de coordenação e aumento de conflitos devido ao envolvimento tardio de empreiteiros e fabricantes [10].
Para superar estas limitações, têm sido adotados contratos colaborativos, como Entrega Integrada de Projetos, Conceção-Construção e Envolvimento Precoce do Empreiteiro, promovendo colaboração multidisciplinar desde as fases iniciais e alinhando projeto, fabrico e logística [11]. O BIM atua como facilitador nestes modelos, clarificando funções, responsabilidades e entregas partilhadas, embora também introduza desafios relativos à propriedade dos dados e responsabilidade por erros, abordados por normas como a ISO 19650 através de ferramentas como EIR e BEP [4].

2.4 Gestão de Processos: um elemento fundamental para a implementação do BIM

Num ambiente BIM estruturado, a gestão de processos constitui um elemento fundamental para garantir a organização e a eficiência dos fluxos de trabalho. Entre as metodologias mais utilizadas para o mapeamento de processos destaca-se a Notação de Modelagem de Processos de Negócio (BPMN), um padrão gráfico internacionalmente reconhecido, concebido para facilitar a comunicação entre stakeholders e especialistas técnicos (EBSCO, 2024). O BPMN oferece uma linguagem visual padronizada que evidencia as interdependências existentes nos processos organizacionais.

3. Estudo de caso

O presente estudo centra-se numa empresa real que opera no setor da construção de edifícios pré-fabricados no Brasil. O principal objetivo consiste na análise dos processos desenvolvidos no departamento de projetos, com especial enfoque na compreensão da sua estrutura, funcionamento e fundamentos operacionais. Esta análise constitui a base para a proposta de implementação de uma metodologia BIM alinhada com as diretrizes da ISO 19650, com vista à melhoria dos fluxos de trabalho e à adoção de boas práticas de gestão da informação.
A metodologia de investigação estrutura-se em etapas sequenciais e bem definidas, orientadas para o redesenho do principal mapa de processos do departamento de projetos. As fases do estudo são as seguintes:

1. **Análise do perfil da companhia:** identificação das práticas atuais e dos fluxos de trabalho existentes no departamento de projetos;
2. **Mapeamento do processo atual:** seleção e representação do processo mais recorrente e relevante do departamento, para efeitos de análise detalhada.
3. **Definição de um projeto piloto:** escolha de um projeto construtivo para aplicação e validação do novo mapa de processos;
4. **Redesenho do mapa de processos com base na ISO 19650 e na metodologia BIM:** reestruturação do processo segundo os princípios da norma, alinhando-o com os marcos do ciclo de vida do projeto. As etapas foram organizadas de acordo com a estrutura normativa: Avaliação e Necessidade, Nomeação, Mobilização, Produção Colaborativa de Informação, Entrega do Modelo de Informação e Encerramento do Projeto.

3.1 Perfil de companhia

Fundada em 2013, a KRONAN atua no mercado brasileiro da construção civil na produção de painéis de betão pré-fabricado como componente estrutural e/ou de fechamento. Inspirada em metodologias construtivas finlandesas, a empresa integra eficiência produtiva, controlo de qualidade e design arquitetónico contemporâneo nas suas soluções.
A organização já adota a metodologia BIM na elaboração de projetos executivos e na orçamentação para a fabricação das estruturas. Atualmente, dispõe de uma unidade fabril localizada em Itupeva, no estado de São Paulo. Através do modelo de construção fora do local (Off-Site Construction), a empresa afirma conseguir reduzir significativamente os prazos de execução, alcançando tempos de entrega até três vezes inferiores aos dos métodos convencionais, mantendo elevados padrões de precisão e qualidade. A sua atuação assenta na melhoria contínua, na investigação aplicada e na inovação tecnológica, sustentadas por um compromisso consistente com clientes e parceiros.

3.2 Mapeamento do processo AS/IS

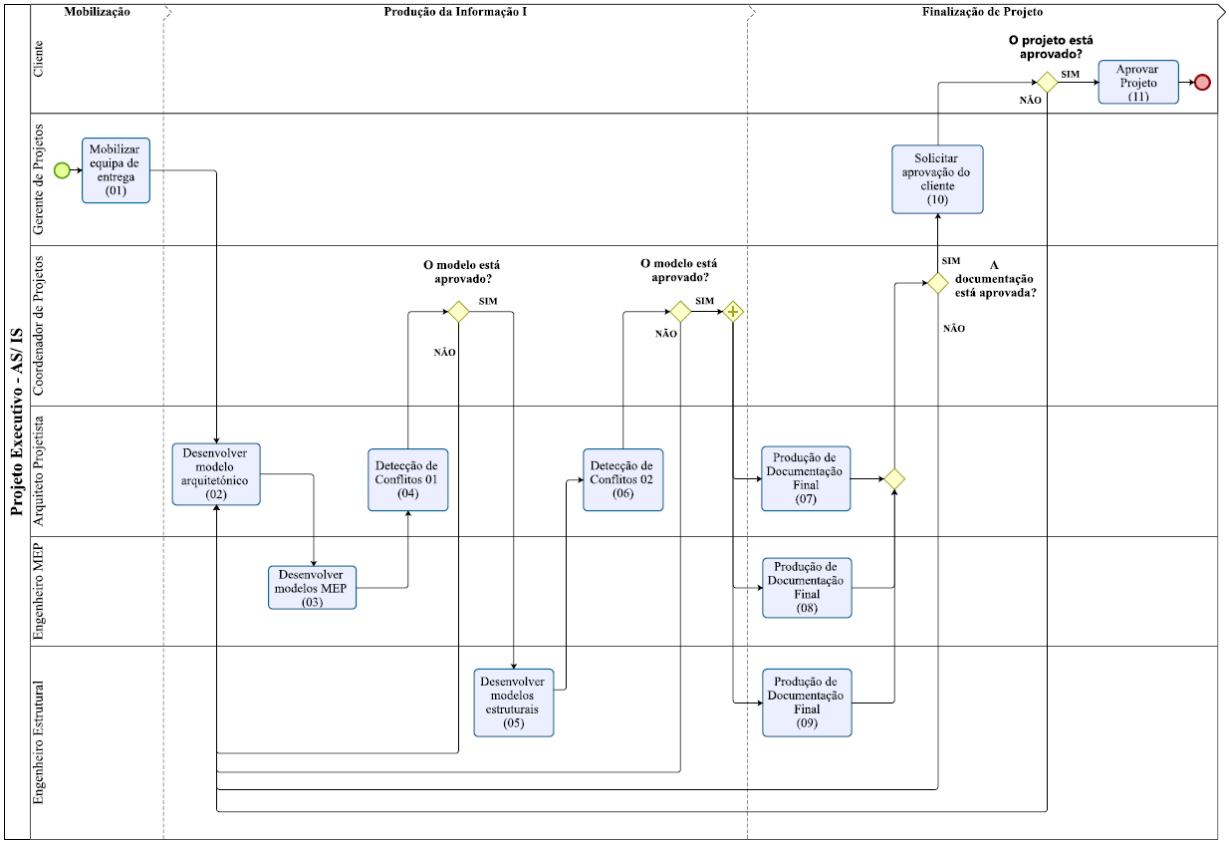


Figura 1: Mapeamento de processo AS/ IS: Projeto Executivo.

Para o desenvolvimento de projetos executivos de painéis em betão pré-fabricado, o departamento de projetos integra arquitectos, responsáveis pela adaptação da linguagem arquitectónica ao sistema construtivo; engenheiros estruturais, responsáveis pelos projetos de fundações e de painéis; e engenheiros MEP, responsáveis pelas especialidades complementares. Neste enquadramento, as actividades que dão início ao processo AS-IS – Projeto Executivo (Figura 1) são as seguintes:

(01) Mobilizar equipa de entrega: o gerente do departamento nomeia os profissionais que devem participar do projeto.

(02) Desenvolver modelo arquitetónico: o arquiteto é acionado para modelar em plataforma BIM o projeto arquitetónico. Após finalização, o profissional deve enviar o arquivo para o engenheiro MEP em formato IFC (*Industry Foundation Classes*).

(03) Desenvolver modelos MEP: o engenheiro MEP é acionado para modelar as disciplinas complementares. Após finalização, os modelos MEP são enviados para o arquiteto em IFC.

(04) Detecção de Conflitos 01: o arquiteto então realiza a primeira detecção de colisão entre disciplinas. O resultado é validado com o coordenador de projetos.

(05) Desenvolver modelos estruturais: após validação, o modelo compatibilizado segue para a elaboração dos projetos de fundação e de estruturas dos painéis.

(06) Detecção de Conflitos 02: o arquiteto então realiza a segunda detecção de colisão entre disciplinas. O resultado é compartilhado com o coordenador de projetos para validação.

(07), (08) e (09) Produção de Documentação Final: após validação, cada projetista é responsável por elaborar a documentação final para a entrega do projeto por disciplina.
(10) Solicitar aprovação do cliente: os arquivos são compartilhados com o cliente pelo gerente de projetos para submetê-los para aprovação.
(11) Aprovar Projeto: cabe ao cliente analisar a documentação e responder se está aprovada ou se há a necessidade de revisá-la.

A análise do processo atual evidencia ineficiências que comprometem a gestão da informação e a fluidez operacional. O retorno recorrente à Atividade (02) constitui um estrangulamento processual, revelando a ausência de pontos formais de validação. A falta de envolvimento do cliente na compatibilização e a inexistência de protocolos, requisitos de entrega e mecanismos de verificação contrariam os princípios colaborativos do BIM e as orientações da ISO 19650. Acresce a sequência inadequada de desenvolvimento dos projetos, com o MEP elaborado antes das fundações e estruturas, o que origina retrabalho e inconsistências no modelo.

4. Redesenho: mapeamento do processo TO/BE baseado em BIM

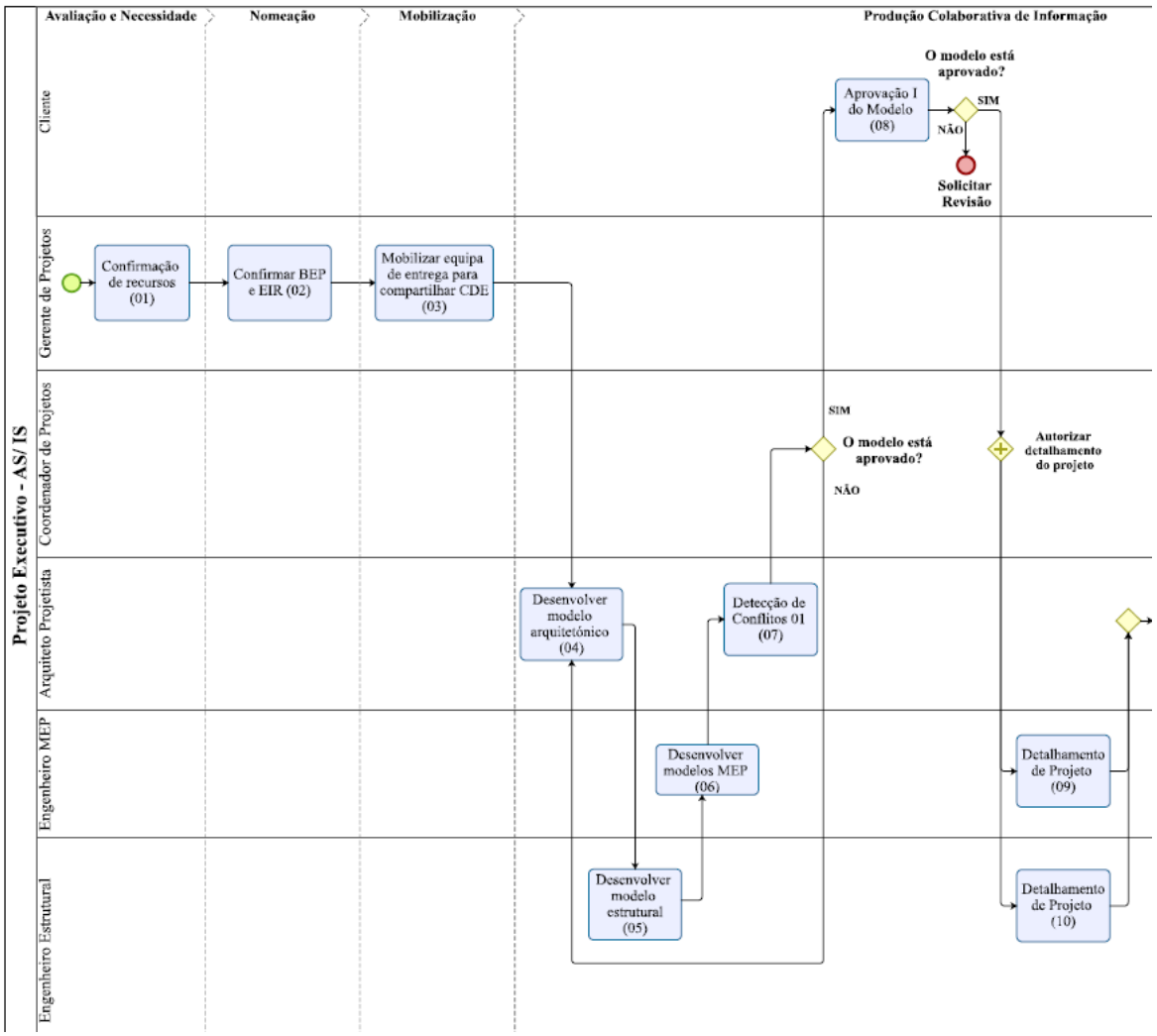


Figura 2: Mapeamento de processo TO/ BE: Projeto Executivo Parte I.

Para o mapa de processo TO/ BE buscou-se adotar uma a sequência lógica de atividades a fim de se evitar retrabalhos, adotar protocolos, requisitos mínimos de informação entre outros artifícios introduzidos pela ISO 19650 conforme as seguintes atividades (Figuras 2 e 3):
(01) Confirmação de recursos: o gerente confirma a disponibilidade de recursos humanos, financeiros e ferramentais para a viabilidade do projeto (19650-2 cláusula 5.1).
(02) Confirmar BEP e EIR: definição de protocolos colaborativos, Nível de Necessidade de Informação, Especificação de Entrega de Informações (IDS) através do Plano de Execução BIM (BEP) e Requisitos de Troca de Informação (EIR) (19650-2 cláusula 5.3).
(03) Mobilizar equipa de entrega para compartilhar CDE: estabelecer o Ambiente Comum de Dados (CDE) a ser utilizado pela equipe e a estruturação das pastas (19650-2 cláusula 5.4).
(04) Desenvolver modelo arquitetónico: modelagem em BIM do projeto arquitetónico.
(05) Desenvolver modelo estrutural: modelagem em BIM do projeto estrutural (fundação e painéis) a partir do projeto arquitetónico compartilhado em formato IFC.
(06) Desenvolver modelos MEP: modelagem em BIM do projeto MEP a partir do modelos arquitetónico e estrutural compartilhado em formato IFC.
(07) Detecção de Conflitos 01: verificação do modelo federado pelo arquiteto. O resultado é validado com o coordenador de projetos (19650-2 cláusula 5.5).
(08) Aprovação I do Modelo: primeira aprovação do projeto junto ao cliente.
(09) e (10) Detalhamento de Projeto: após primeiro aceite do cliente, os modelos por disciplina seguem para detalhamento da solução.

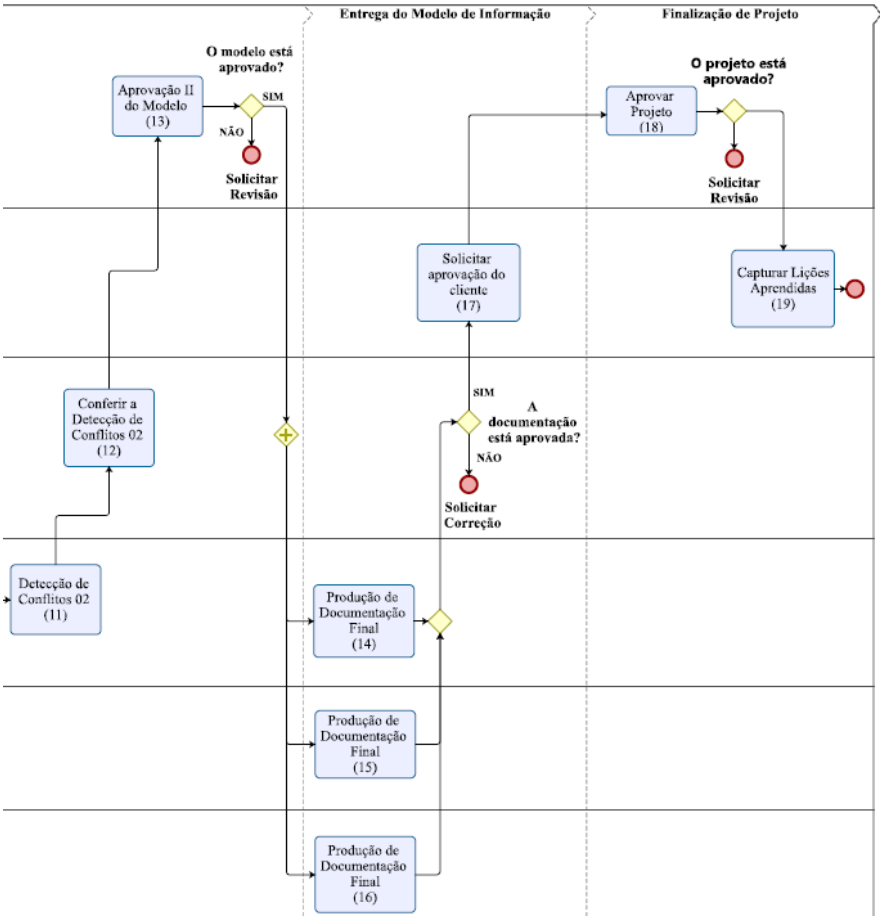


Figura 3: Mapeamento de processo TO/ BE: Projeto Executivo Parte II.

(11) e (12) Detecção e conferência de detecção de Conflitos 02: verificação do modelo federado pelo arquiteto. O resultado é validado com o coordenador de projetos (19650-2 cláusula 5.5).
(13) Aprovação II do Modelo: segunda aprovação do projeto junto ao cliente.
(14), (15) e (16) Produção de Documentação Final: após validação, cada projetista é responsável por elaborar a documentação final para a entrega do projeto por disciplina.
(17) Solicitar aprovação do cliente: gerente agenda apresentação do projeto junto ao cliente.
(18) Aprovar Projeto e (19) Capturar Lições Aprendidas: avaliação final do cliente e captação das lições aprendidas pela equipa para futuros projetos (19650-2 cláusula 5.6).

5. Discussão e Conclusão

O mapa de processo desenvolvido neste estudo teve como objetivo apoiar pequenas e médias empresas do setor da construção pré-fabricada na reestruturação dos seus fluxos de trabalho, promovendo uma abordagem sistematizada de gestão da informação em conformidade com a ISO 19650. As principais adaptações ao fluxo de trabalho da empresa consistiram na simplificação e na exclusão de etapas previstas na norma que não se adequavam à sua realidade operacional, sobretudo no que se refere à participação em processos licitatórios. Adicionalmente, as etapas foram ajustadas à dimensão reduzida da equipa, por meio da simplificação das tarefas e da reorganização dos mapas de processo.
A proposta metodológica surgiu a partir da identificação de fragilidades na comunicação entre partes interessadas no projeto e da inexistência de protocolos formais, fatores que comprometem a rastreabilidade, a consistência dos entregáveis e a eficiência operacional.
A comparação entre os modelos AS-IS e TO-BE evidenciou que a principal lacuna residia na ausência de uma estrutura formal de gestão da informação. O redesenho dos processos, baseado na definição de requisitos, na formalização do BEP, na implementação de um CDE e na reorganização da sequência disciplinar, permitiu reduzir retrabalho, clarificar responsabilidades e aumentar a previsibilidade das atividades. Por fim, a validação por meio de um projeto piloto demonstrou a viabilidade prática da metodologia proposta, bem como o seu potencial contributo para o aumento da maturidade BIM e da competitividade organizacional.

Agradecimentos

Este trabalho foi financiado pelo PRR (Plano de Recuperação e Resiliência) e pelos Fundos Europeus Next Generation EU, ao abrigo do sistema de incentivos «Agendas para a Inovação Empresarial», no âmbito do projeto “R2U Technologies|modular systems”, com a referência C644876810-00000019. Este trabalho foi também apoiado pela FCT/MCTES no âmbito da Unidade de I&D Instituto para a Sustentabilidade e Inovação em Estruturas de Engenharia (ISISE), com as referências UID/4029/2025 (https://doi.org/10.54499/UID/04029/2025) e UID/PRR/04029/2025 (https://doi.org/10.54499/UID/PRR/04029/2025), e no âmbito do Laboratório Associado Produção Avançada e Sistemas Inteligentes ARISE com a referência LA/P/0112/2020.

Referências

[1] Sacks, R., Eastman, C.M., Lee, G. and Teicholz, P. BIM Handbook: A guide to building information modeling for owners, designers, engineers, contractors, and facility managers. Hoboken, N.J.: Wiley, 2018.
[2] Smith, R.E. Prefab architecture: A guide to modular design and construction. Hoboken, N.J.: Wiley, 2010.
[3] Yoo, M., J. Kim, and C. Choi, "Effects of BIM-based construction of prefabricated steel framework from the perspective of SMEs," Applied Sciences, vol. 9, no. 9, p. 1732, 2019. doi: 10.3390/app9091732.
[4] ISO 19650-2: Organization of information about construction works – Information management using building information modelling – Part 2: Delivery phase of the assets," International Organization for Standardization (ISO), 2018.
[5] European Commission, "Annual report on European SMEs 2023," European Commission, 2023.
[6] Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD), "SME and entrepreneurship policy in Brazil 2020," OECD, 2020.
[7] R. Lyu, J. Pitt, and M. Pitt, "Implementation challenges of Building Information Modelling (BIM) in Small to Medium-Sized Enterprises (SMEs) participating in public projects in Qatar," Computer and Decision Making – An International Journal, vol. 1, no. 1, pp. 252–279, 2024. doi: 10.59543/comdem.v1i.11035.
[8] J. Eloranta, "Changing traditional construction with modular design platforms," Dissertação de Mestrado, Programa de Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial, Escola de Ciências de Engenharia, Lappeenranta-Lahti University of Technology LUT, Lappeenranta, Finlândia, 2021.
[9] Y. Wang, Z. Yuan, and C. Sun, "Research on assembly sequence planning and optimization of precast concrete buildings," Journal of Civil Engineering and Management, vol. 24, no. 2, pp. 106–115, 2018. doi: 10.3846/jcem.2018.458.
[10] W. Lu, K. Chen, F. Xue, and W. Pan, "Searching for an optimal level of prefabrication in construction: An analytical framework," Journal of Cleaner Production, vol. 201, pp. 236–245, 2018. doi: 10.1016/j.jclepro.2018.08.015.
[11] M. El Asmar, A. S. Hanna, and W. Y. Loh, "Quantifying performance for the Integrated Project Delivery system as compared to established delivery systems," Journal of Construction Engineering and Management, vol. 139, no. 11, 04013012, 2013. doi: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000744.

12345

PLATAFORMA DIGITAL PARA APOIO À EXECUÇÃO DE FACHADAS EM EDIFÍCIOS INDUSTRIAIS COM APOIO DE ROBÓTICA E INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

J. Fonseca, A. Barreiro, P. Oliveira, R. Cabral, P. Alves, D. Martinho, R. Santos, R. Garcia, N. Ferreira, L. Sanhudo, M. Couceiro, G. Marreiros, D. Ribeiro

ptBIM

PLATAFORMA DIGITAL PARA APOIO À EXECUÇÃO DE FACHADAS EM EDIFÍCIOS INDUSTRIAIS COM APOIO DE ROBÓTICA E INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

J. Fonseca[1], A. Barreiro[1], P. Oliveira[1], R. Cabral[1,2], P. Alves[3], D. Martinho[3], R. Santos[1,2], R. Garcia[4], N. Ferreira[5], L. Sanhudo[6], M. Couceiro[7], G. Marreiros[3], D. Ribeiro[1,2]

(1) iBuilt, Instituto Superior de Engenharia, Politécnico do Porto, Porto, Portugal
(2) CONSTRUCT, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, Portugal
(3) GECAD, Instituto Superior de Engenharia, Politécnico do Porto, Porto, Portugal
(4) Garcia Garcia SA, Santo Tirso, Portugal
(5) Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, Coimbra, Portugal
(6) BuiltColab, Porto, Portugal
(7) Ingeniarius, Alfena, Portugal

Resumo
A integração eficaz da robótica em estaleiro enfrenta o desafio crítico da descontinuidade semântica entre o modelo BIM (As-Design) e a dinâmica imprevisível da obra (As-Is). Este trabalho apresenta uma arquitetura de interoperabilidade baseada em sistemas ciberfísicos para a instalação automatizada de fachadas industriais, unificando três Gémeos Digitais (Ativo, Humano e Robô) num ecossistema gerido via *Robot Operating System* 2 (ROS2) e *Unity*. A abordagem distingue-se pelo fecho do ciclo de controlo em tempo real: o sistema integra inspeção visual via UAVs, utilizando Deep Learning e Ray Casting para o mapeamento geométrico de anomalias, e uma gestão de segurança preventiva baseada em visão computacional, dados biométricos e redes neurais para a deteção de fadiga humana. Simultaneamente, o controlo do manipulador robótico é otimizado por meio do planeamento cinemático *MoveIt2* e de controladores *Fuzzy-PID*. Esta plataforma valida uma sincronização temporal e espacial robusta, essencial para uma colaboração homem-máquina segura e eficiente.

1. Introdução

A indústria da Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC) enfrenta desafios prementes de produtividade e segurança no trabalho, o que impulsiona a busca por soluções baseadas na Construção 5.0. O projeto CRIARTE – Construção com Robótica Inteligente e Arquitetura Revolucionária de Tecnologias Emergentes – propõe o desenvolvimento de um ecossistema tecnológico para a automatização da instalação de painéis *sandwich* em edifícios industriais [1]. Este projeto é desenvolvido por um consórcio multidisciplinar liderado pela Ingeniarius, especializada em robótica, em copromoção com a construtora Garcia Garcia, o laboratório

colaborativo BUILT CoLAB, e as instituições de ensino superior Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP) e Instituto Superior de Engenharia de Coimbra (ISEC). A sinergia entre estas entidades visa unir a experiência prática na construção industrial à investigação avançada em robótica, digitalização e inteligência artificial.
Para suportar esta operação complexa, serão desenvolvidas três plataformas digitais distintas, denominadas gémeos digitais (DT - *Digital Twins*): o DT do Ativo, o DT do Humano e o DT do Robô. Estas plataformas constituirão o núcleo tecnológico do projeto, suportando a digitalização e a integração inteligente dos processos construtivos.
Embora existam abordagens consolidadas de Scan-to-BIM e de gémeos digitais para monitorização de obra, permanece um desafio a integração operacional com robótica de estaleiro: (i) manter coerência geométrica e semântica entre BIM (*As-Design*) e medições (*As-Is*), (ii) converter essa coerência em objetivos acionáveis para o robô (planeamento/controlo), e (iii) fechar o ciclo com atualização do DT e gestão de segurança humano-robô em tempo quase real.
O presente artigo descreve a arquitetura conceptual proposta para estas plataformas, detalhando os *pipelines* de aquisição, pré-processamento e extração de conhecimento previstos. Será dada ênfase à plataforma integradora, que garantirá a interoperabilidade entre os sistemas físicos e virtuais por meio de uma estrutura baseada em *Robot Operating System* 2 (ROS2) e *Unity*. Esta arquitetura servirá de base para as fases subsequentes de implementação e de validação técnica.

2. Plataforma Digital do Ativo

A arquitetura da Plataforma Digital do Ativo será organizada em três linhas de monitorização: geométrica, de anomalias e ambiental, como apresentada na Figura 1. O objetivo será alimentar o desenvolvimento e a visualização do DT com dados reais de campo (*As-Is*), permitindo a inspeção automatizada, com suporte a visão computacional (CV – *Computer Vision*).

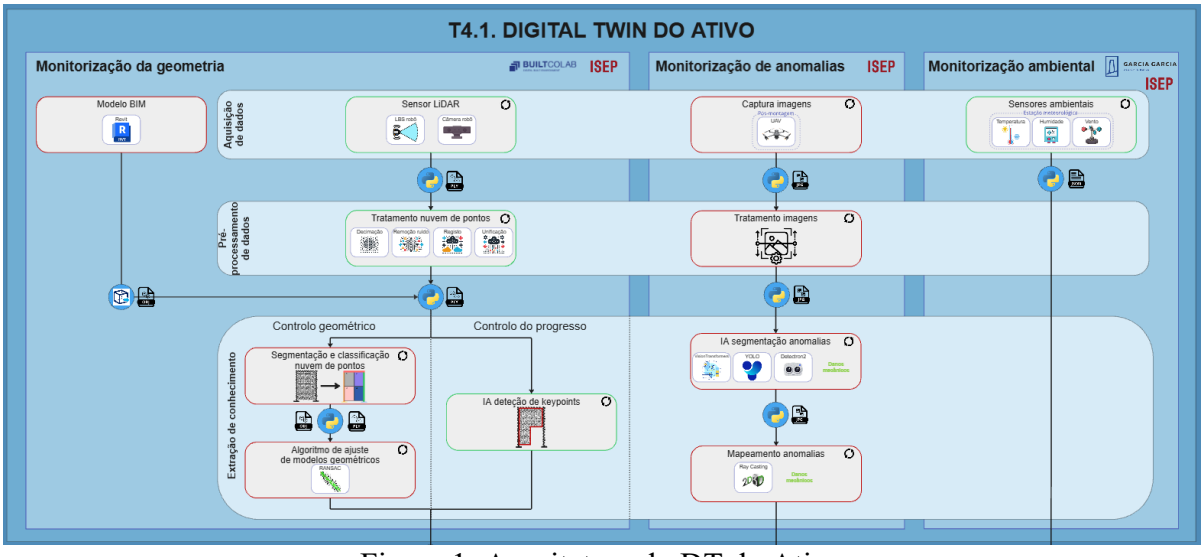


Figura 1: Arquitetura do DT do Ativo

2.1 Monitorização da Geometria

A monitorização da geometria terá como função verificar a conformidade dimensional da obra e o progresso da obra. O processo iniciar-se-á com a aquisição de dados por meio de sensores embarcados no robô manipulador (*Manitou MRT 2260*). Serão utilizados sensores LiDAR Leishen CH64W para medições de alta densidade [2], complementados por câmaras estereoscópicas StereoLabs ZED 2i para a perceção visual e o registo de cor [3].

Todos os dados serão expressos num referencial global único (BIM/obra), mantendo uma árvore de transformações (tf2) entre os elementos-chave, como o mapa, a plataforma robótica, e os respetivos sensores.

O tratamento da nuvem de pontos seguirá um fluxo de pré-processamento rigoroso para garantir a qualidade dos dados. Serão aplicadas técnicas de decimação, como o *voxel downsampling* ou *Poisson Disk Sampling*, seguidas de remoção de ruído para eliminar dados espúrios (por ex.., reflexos, poeira).

Para o registo entre a nuvem de pontos capturada e o modelo BIM (*As-Design*), prevê-se explorar métodos clássicos, como o *Iterative Closest Point* (ICP) [4], bem como abordagens baseadas em *Deep Learning* (DL) [5,6], para lidar com cenários de baixa sobreposição (*overlap*). A extração de conhecimento culminará no controlo geométrico e na monitorização do progresso. Neste âmbito, a conformidade será quantificada por meio de métricas, como a distância ponto-para-superfície em relação ao BIM, o desvio angular dos planos e a taxa de cobertura (área observada/área esperada). Estes indicadores permitirão a identificação automática dos painéis montados em tempo real, bem como a deteção de desalinhamentos e lacunas de montagem face às tolerâncias definidas por elemento (painel, estrutura e ligações).

2.2 Monitorização de Anomalias

Este módulo visará à segmentação e ao mapeamento de danos mecânicos nos painéis. A aquisição de dados ocorrerá por meio de Veículos Aéreos Não Tripulados (UAVs - *Unmanned Aerial Vehicles*), garantindo aquisição remota e imagens de alta resolução georreferenciadas.

Para garantir consistência métrica, as imagens provenientes do UAV serão acompanhadas por parâmetros intrínsecos e extrínsecos, permitindo projetar anomalias no referencial do ativo com incerteza associada. A integração com o DT pressupõe que a representação 3D do ativo esteja previamente registada no BIM.

As imagens serão processadas por algoritmos de IA baseados na arquitetura *You Only Look Once* (YOLO), reconhecida por sua eficiência na deteção e segmentação em tempo real. Os modelos serão treinados com *datasets* anotados especificamente para identificar anomalias em painéis *sandwich*.

Após a segmentação 2D, será aplicada a técnica de *Ray Casting* para projetar as máscaras das anomalias diretamente no modelo 3D. O método baseia-se na projeção de raios virtuais. Cada raio é gerado a partir do centro ótico da câmara e orientado segundo a geometria definida pela respetiva pose e parâmetros intrínsecos, atravessando o plano da imagem e prolongando-se no espaço tridimensional até à interseção com a *mesh* do ativo, criando um mapa de danos tridimensional que será posteriormente integrado no DT para visualização e análise de métricas. A figura 2 ilustra o processo descrito.

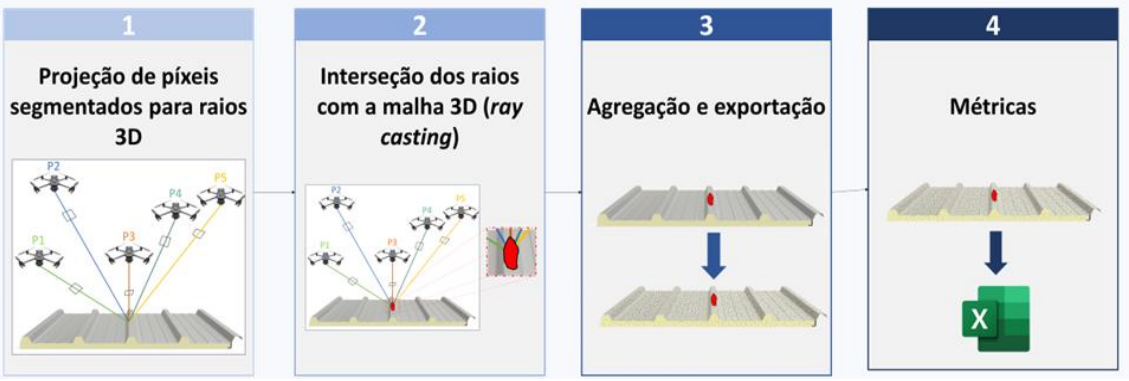


Figura 2: Etapas do mapeamento de danos mecânicos

2.3 Monitorização Ambiental

Para garantir que as operações robóticas decorram em segurança, será implementada uma monitorização ambiental contínua. Os dados serão recolhidos através de uma estação meteorológica *Ecowitt WN90LP* [7], que monitorizará parâmetros como velocidade do vento, precipitação e temperatura.

Serão estabelecidas regras operacionais baseadas num modelo de decisão *Go/Reduce/Stop*, em conformidade com as normas de segurança para robótica industrial e colaborativa, nomeadamente a ISO 10218 [8] e a ISO/TS 15066 [9]. Os limiares de atuação serão definidos através de uma avaliação de risco específica, sendo parametrizados dinamicamente em função da tarefa em execução (e.g., limites mais restritos para a elevação de painéis em altura versus a deslocação no solo). Adicionalmente, serão incorporadas margens de segurança conservadoras para mitigar o impacto de rajadas de vento súbitas ou condições de visibilidade reduzida.

Em termos de arquitetura, o estado operacional será propagado em tempo real via ROS2 para o controlador do robô e para a interface do DT. Para garantir a robustez do sistema, está implementado um mecanismo que permite em caso de perda de comunicação ou violação crítica dos parâmetros, o robô executará autonomamente uma paragem segura.

3. Plataforma Digital do Humano

O DT do Humano tem como objetivo criar uma representação virtual dinâmica do estado fisiológico e contextual dos trabalhadores, visando a prevenção de acidentes e a deteção de fadiga. A Figura 3 ilustra essa arquitetura.

3.1 Aquisição Multimodal de Dados

A aquisição de dados basear-se-á numa rede de sensores *wearable*, mediante consentimento informado. O sistema prevê a utilização de cintas *Polar H10* para a medição da frequência cardíaca e da sua variabilidade (HRV), bem como de pulseiras *Empatica EmbracePlus* para a recolha de atividade eletrodérmica (EDA) e temperatura da pele. A sincronização temporal destes fluxos (via *timestamp* comum) permitirá associar a biometria ao contexto operacional (localização, proximidade ao robô e tarefa), sendo esta correlação essencial para distinguir a fadiga ou stress induzidos pelo esforço físico de situações de risco efetivo (e.g., intrusão em zona de operação).

Complementarmente, sensores LiDAR e câmaras, instalados tanto no robô quanto no estaleiro, monitorizarão, em tempo real, a pose e a localização dos trabalhadores. A deteção de posturas de risco ou de quedas será abordada como um problema de rastreamento (*tracking*) de múltiplas pessoas e de estimação de pose, aplicando-se filtragem de falsos positivos por oclusão e validação cruzada com a cinemática do robô e as zonas de perigo definidas no DT.
Dada a sensibilidade da informação recolhida, o tratamento dos dados respeitará estritos princípios éticos de proporcionalidade, transparência e privacidade. Serão implementados mecanismos de anonimização e controlo de acesso para garantir a conformidade com o Regulamento Geral sobre a Proteção de Dados (RGPD), assegurando que a informação seja utilizada exclusivamente para a segurança ocupacional e não para fins disciplinares ou de avaliação de desempenho individual.

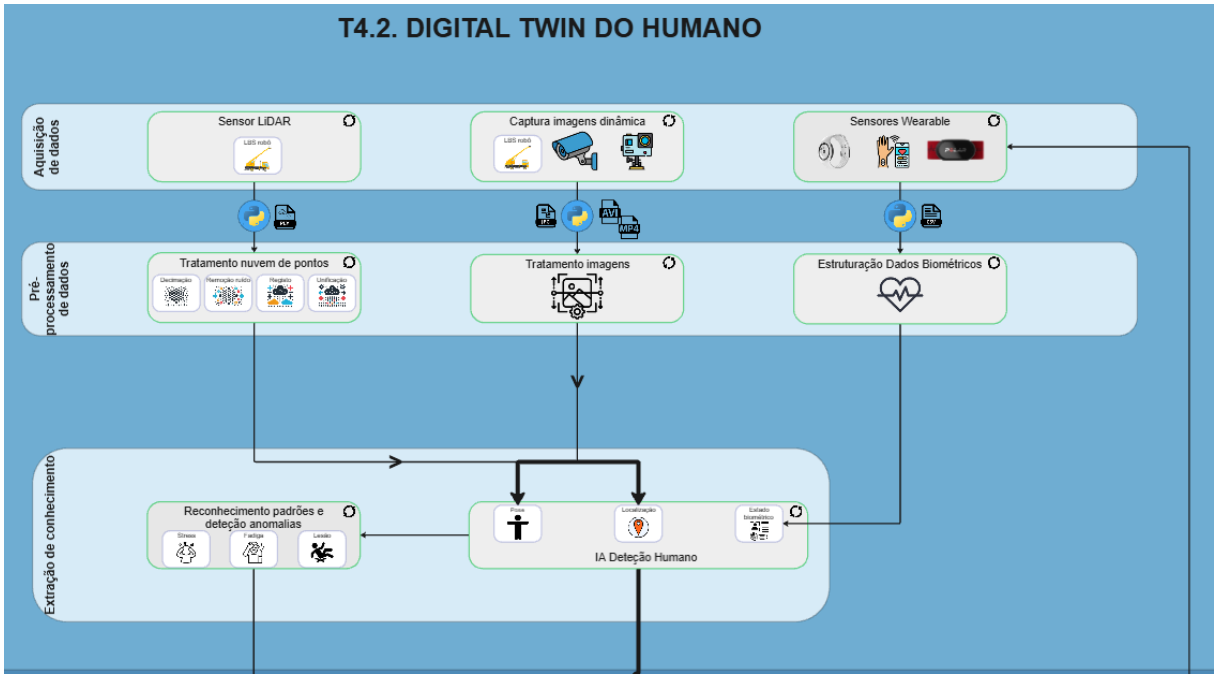


Figura 3: Arquitetura do DT do Humano

3.2 Processamento e Extração de Conhecimento

O fluxo de dados inicia-se com o pré-processamento e a estruturação dos registos biométricos em formato JSON, centralizados num servidor dedicado. A análise basear-se-á, primordialmente, em indicadores do domínio temporal derivados da variabilidade da frequência cardíaca (HRV), como o RMSSD (*Root Mean Square of Successive Differences*) e o SDNN (*Standard Deviation of Normal-to-Normal intervals*), correlacionados com dados de atividade eletrodérmica (EDA).
Para a extração de conhecimento e reconhecimento de padrões associados a stress, fadiga e carga cognitiva, recorrer-se-á a técnicas de *Machine Learning* (e.g., *Random Forest* e *SVM*) e de *Deep Learning* (e.g., redes LSTM). A inferência será realizada sobre janelas temporais deslizantes, privilegiando características (*features*) robustas a artefactos de movimento típicos do trabalho em estaleiro.

O processo de treino e validação dos modelos envolverá rotulagem supervisionada em ambiente controlado. Será dada prioridade à minimização da taxa de falsos positivos, avaliando o desempenho por meio de métricas de precisão, a fim de mitigar o impacto operacional de alertas excessivos. Caso sejam detetadas anomalias fisiológicas ou situações de perigo iminente, o sistema enviará alertas em tempo real ao gestor de obra através de dispositivos de Realidade Aumentada (RA), como o Microsoft HoloLens 2, permitindo uma atuação preventiva imediata.

4 Plataforma Digital do Robô

A Plataforma Digital do Robô terá como finalidade simular, monitorizar e otimizar, em tempo real, o desempenho do *Manitou*. A Figura 4 ilustra essa arquitetura.

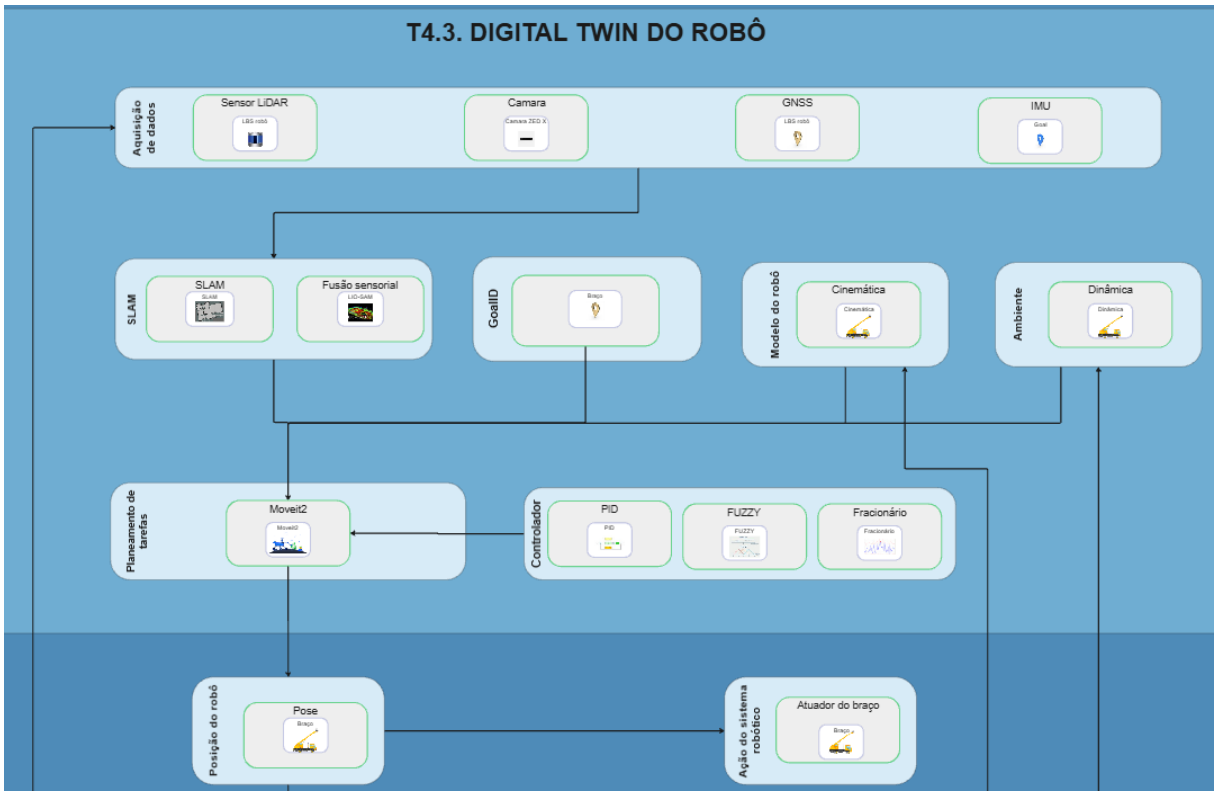


Figura 4: Arquitetura do DT do Robô

4.1 Arquitetura Modular

A arquitetura proposta será composta por sete camadas interligadas: Aquisição de Dados, SLAM, Gestão de Objetivos (*Goal* ID), Modelo do Robô, Ambiente, Planeamento de Tarefas e Controlador. A Gestão de Objetivos mapeará entidades do BIM/DT (ID de painel, pontos de preensão, sequência de montagem, tolerâncias) para objetivos robóticos parametrizados (poses alvo, restrições de orientação, janelas de aproximação e condições de segurança), garantindo rastreabilidade entre decisão e execução.

Na camada de aquisição, serão integrados dados provenientes de LiDAR, câmaras, GNSS e IMU. A camada de SLAM fundirá estes dados para estimar a posição do robô e mapear o

ambiente envolvente. A perceção alimentará um *planning scene* atualizado (obstáculos estáticos do BIM e obstáculos dinâmicos detetados), permitindo replaneamento quando existirem desvios *As-Is* relevantes.

4.2 Planeamento e Controlo

A camada de planeamento utilizará o *framework* MoveIt2 para calcular trajetórias livres de colisões, com base no mapa gerado e nos objetivos definidos [12]. A integração com MoveIt2 será suportada por um modelo cinemático/colisão do conjunto (manipulador + ferramenta), e por interfaces ROS2 para execução de trajetórias com monitorização online (erro de seguimento, saturação hidráulica e limites de segurança).

Ao nível do controlo, serão exploradas estratégias avançadas para garantir a precisão do manipulador hidráulico. Como linha de base, será implementado um controlo de posição, velocidade e aceleração, adequado a atuadores hidráulicos e compatível com requisitos de segurança. Outros controlos alternativos serão avaliados apenas se demonstrarem ganhos mensuráveis em precisão, robustez a perturbações e estabilidade, sob restrições de tempo real e fiabilidade. Para além do controlo do tipo *Proportional-Integral-Derivative controller* (PID) clássico, está prevista a implementação de controladores Fuzzy-PID, que combinam a lógica difusa para lidar com incertezas, e controladores PID de ordem fracionária, que oferecem maior flexibilidade na modelação de sistemas complexos e não lineares. Adicionalmente, serão investigadas abordagens de controlo preditivo (MPC) baseadas em DL para antecipar o comportamento dinâmico do sistema. (PID) clássico, está prevista a implementação de controladores Fuzzy-PID, que combinam a lógica difusa para lidar com incertezas, e controladores PID de ordem fracionária, que oferecem maior flexibilidade na modelação de sistemas complexos e não lineares. Adicionalmente, serão investigadas abordagens de controlo preditivo (MPC) baseadas em DL para antecipar o comportamento dinâmico do sistema.

5. Plataforma Digital Integradora

A plataforma digital integradora funcionará como o núcleo de interoperabilidade, assegurando a comunicação entre os três DTs (Ativo, Humano e Robô). A Figura 5 ilustra a arquitetura global do DT.

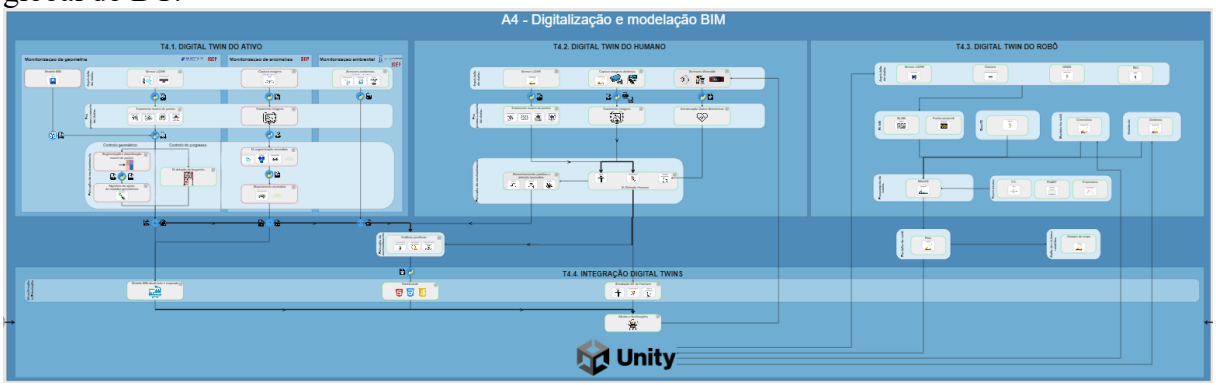


Figura 5: Arquitetura global do DT

5.1 *Middleware* e Comunicação

O sistema utilizará o ROS2 como *middleware* de comunicação unificado [13]. Todos os módulos publicarão os seus dados (geometria, biometria, telemetria) sob a forma de tópicos ROS2 normalizados, garantindo a troca de informações em tempo real e a sincronização temporal entre os diferentes agentes. A comunicação ROS2 será parametrizada com políticas de *QoS* por tipo de *stream* e com sincronização temporal dos nós. *Streams* intensivos (nuvens de pontos, imagens) serão publicados com taxa controlada e/ou compressão, garantindo latência compatível com operação em estaleiro. A Figura 6 ilustra a comunicação implementada entre os agentes do DT, nomeadamente, Ativo, Humano e Robô.

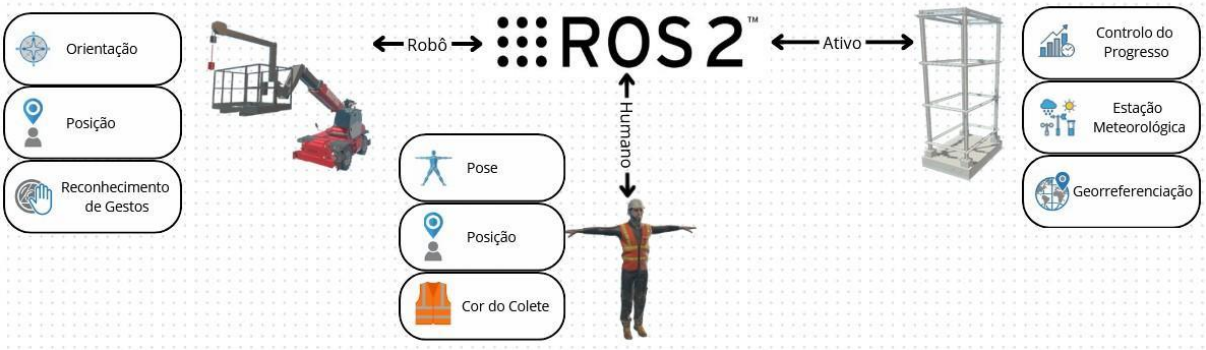


Figura 6: Comunicação dos agentes do DT

5.2 Visualização e Interação

A interface de visualização e controlo será desenvolvida no *game engine* Unity [14]. A integração entre o ROS2 e o Unity será assegurada pelo ROS-TCP Connector. Essa comunicação bidirecional é realizada via um endpoint dedicado no lado ROS2, mantendo o Unity como cliente de visualização/interação. Isso permite reduzir o acoplamento entre ambos os ecossistemas, melhorando a robustez e facilitando testes e reprodução. Esta arquitetura permitirá que o ambiente Unity funcione como um nó ROS2, visualizando, de forma imersiva e centralizada, o estado do estaleiro, do robô e dos trabalhadores. Deste modo, a interface suporta camadas de informação (e.g., estado do robô, progresso geométrico, alertas de segurança, anomalias) e mecanismos de playback (*rosbag*) para auditoria e análise pós-evento. A Figura 7 ilustra o modelo do estaleiro com os agentes do DT no ambiente do Unity.



Figura 7: Visualização do DT no Unity

6. Conclusões

O presente artigo apresenta a arquitetura conceptual das plataformas digitais desenvolvidas no âmbito do projeto CRIARTE, propondo uma solução disruptiva para a automatização da execução de fachadas em edifícios industriais. A abordagem descrita distingue-se pelo seu carácter holístico, superando a visão tradicional de sistemas isolados ao integrar, numa única infraestrutura lógica, os três pilares fundamentais do estaleiro: o Ativo (edifício), o Humano (trabalhador) e o Robô (equipamento).

A principal contribuição tecnológica deste trabalho reside na definição de um ecossistema de interoperabilidade total, suportado pelo *middleware* ROS2 e pelo motor de visualização *Unity*. Esta arquitetura permitirá ultrapassar um dos maiores obstáculos da Construção 5.0: a fragmentação de dados. Ao unificar a telemetria robótica, a monitorização biométrica e o mapeamento geométrico num barramento de comunicação comum, o sistema proposto viabilizará uma tomada de decisão em tempo real, baseada numa representação digital integrada, fidedigna e continuamente atualizada do ativo.

A validação será estruturada em ensaios incrementais (simulação → ambiente controlado → obra), com protocolos repetíveis para: (i) registo geométrico BIM↔As-Is (erro e tempo de convergência), (ii) deteção/segmentação de anomalias (precisão/*recall* por tipo de dano), e (iii) desempenho do ciclo DT-robô (latência ponta-a-ponta e taxa de replaneamento).

Do ponto de vista da segurança e saúde no trabalho, o modelo proposto introduz uma mudança de paradigma, transitando de uma segurança reativa para uma segurança preventiva e colaborativa. A integração inovadora de dados fisiológicos (*stress* e fadiga) no ciclo de controlo do estaleiro permitirá que o sistema atue proactivamente, alertando o trabalhador ou o gestor da obra ou ainda interrompendo o robô antes da ocorrência de um acidente, garantindo uma simbiose segura entre homem e máquina.

Em termos de trabalhos futuros, as atividades do consórcio focar-se-ão na transição da arquitetura conceptual para a implementação física. As próximas fases contemplarão o desenvolvimento dos algoritmos de fusão sensorial e controlo avançado, seguidos de uma rigorosa validação experimental em ambiente controlado e, posteriormente, em obra. Serão avaliados indicadores-chave de desempenho (KPIs), como a precisão do registo geométrico, a latência da comunicação ROS2-Unity e a eficácia dos modelos de IA na segmentação de anomalias, com o objetivo de validar o sistema como uma ferramenta robusta para a digitalização e a industrialização do setor da construção.

Agradecimentos

Os autores agradecem o financiamento obtido no âmbito do projeto CRIARTE – Construção com Robótica Inteligente e Arquitetura Revolucionária de Tecnologias Emergentes (Refª COMPETE2030-FEDER-01192200), cofinanciado pelo Programa COMPETE 2030 e pelo Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (FEDER). Os autores agradecem igualmente o apoio da unidade de investigação UIDB/04708/2020 (DOI: 10.54499/UIDB/04708/2020) e do financiamento programático - UIDP/04708/2020 (DOI: 10.54499/UIDP/04708/2020), atribuídos ao CONSTRUCT - Instituto de I&D em Estruturas e Construções – financiados por fundos nacionais através da FCT/MCTES (PIDDAC).

Referências

[1] Ferreira, S. C. G. (2024). *Paredes Divisórias: Abordagem Inovadora em Painel Sandwich* (Doctoral dissertation, Universidade de Aveiro (Portugal)).

[2] Luo, J., Li, S., Gui, L., & Zhong, S. (2023, September). Segment Matching Localization Method with Semi-Dynamic Object Removal based on Prior Map. In *2023 IEEE 7th Information Technology and Mechatronics Engineering Conference (ITOEC)* (Vol. 7, pp. 2031-2039). IEEE.

[3] Abdelsalam, A., Mansour, M., Porras, J., & Happonen, A. (2024). Depth accuracy analysis of the ZED 2i Stereo Camera in an indoor Environment. *Robotics and Autonomous Systems*, *179*, 104753.

[4] Zhang, Z. (2021). Iterative closest point (ICP). In *Computer vision: a reference guide* (pp. 718-720). Cham: Springer International Publishing.

[5] Aoki, Y., Goforth, H., Srivatsan, R. A., & Lucey, S. (2019). Pointnetlk: Robust & efficient point cloud registration using pointnet. In *Proceedings of the IEEE/CVF conference on computer vision and pattern recognition* (pp. 7163-7172).

[6] Shendryk, Y. (2022). Fusing GEDI with earth observation data for large area aboveground biomass mapping. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, *115*, 103108.

[7] Ecowitt. (2024). *WN90LP Weather Station with RS485 Interface and Modbus Protocol: Manual*. https://oss.ecowitt.net/uploads/20241017/WN90LP%20Manual.pdf

[8] Rosenstrauch, M. J., & Krüger, J. (2017, April). Safe human-robot-collaboration-introduction and experiment using ISO/TS 15066. In *2017 3rd International conference on control, automation and robotics (ICCAR)* (pp. 740-744). IEEE.

[9] Chemweno, P., Pintelon, L., & Decre, W. (2020). Orienting safety assurance with outcomes of hazard analysis and risk assessment: A review of the ISO 15066 standard for collaborative robot systems. *Safety Science*, *129*, 104832.

[10] García-Domínguez, D., Echevarría, M., Hernández-Vicente, A., Hernando, D., Lázaro, J., Garatachea, N., & Bailon, R. Estimation of Ventilatory Thresholds from the Ecg-Derived Respiratory Rate and Heart Rate Variability of the Polar H10. *Available at SSRN 4974241*.

[11] Wang, H. M., & Huang, S. C. (2012). SDNN/RMSSD as a surrogate for LF/HF: a revised investigation. *Modelling and Simulation in Engineering*, *2012*(1), 931943.

[12] Marino Gammazza, G. (2024). *Automatic Sorting with Manipulator using Moveit2 and ROS2* (Doctoral dissertation, Politecnico di Torino).

[13] Maruyama, Y., Kato, S., & Azumi, T. (2016, October). Exploring the performance of ROS2. In *Proceedings of the 13th international conference on embedded software* (pp. 1-10).

[14] Singh, M., Kapukotuwa, J., Gouveia, E. L. S., Fuenmayor, E., Qiao, Y., Murry, N., & Devine, D. (2024). Unity and ROS as a digital and communication layer for digital twin application: Case study of robotic arm in a smart manufacturing cell. Sensors, 24(17), 5680.

12345

5

Ambientes Imersivos e Sistemas Dinâmicos do Ambiente Construído

ptBIM

12345

INTEGRAÇÃO BIM-RA: ABORDAGEM MARKERLESS PARA MONITORIZAÇÃO DE PROGRESSO DE OBRA EM AMBIENTE CONSTRUTIVO

Pedro Ferreira, Mário Dixo, Daniel Pereira, João N.D. Fernandes, Luís Sanhudo

ptBIM

INTEGRAÇÃO BIM-RA: ABORDAGEM MARKERLESS PARA MONITORIZAÇÃO DE PROGRESSO DE OBRA EM AMBIENTE CONSTRUTIVO

Pedro Ferreira [(1)], Mário Dixo [(2)], Daniel Pereira [(2)], João N.D. Fernandes [(3)], Luís Sanhudo [(4)]

(1) BUILT CoLAB, Porto, Portugal, 0000-0003-4187-5033
(2) BUILT CoLAB, Porto, Portugal
(3) BUILT CoLAB, Porto, Portugal, 0000-0003-0590-4861
(4) BUILT CoLAB, Porto, Portugal, 0000-0002-2578-6981

Resumo
A integração de ferramentas de Realidade Aumentada (RA) com metodologias *Building Information Modeling* (BIM) oferece novas formas de visualizar e interagir com modelos digitais em contexto real, promovendo uma comunicação mais eficaz entre equipas e melhorando as tomadas de decisão no terreno. Contudo, a sua adoção no setor da Arquitetura, Engenharia, Construção e Operações (AECO) continua condicionada por diversas limitações técnicas e operacionais, como acentuadas curvas de aprendizagem ou longos períodos de adaptação ao hardware.
O trabalho apresentado descreve o desenvolvimento e validação de uma aplicação de RA, aplicada a processos de gestão e monitorização do progresso de obra. A solução emprega uma abordagem *markerless* de ancoragem espacial, garantindo a sobreposição estável e persistente dos modelos BIM sobre o ambiente físico, sem necessidade de marcadores visuais. A adoção do sistema pressupõe uma compreensão espacial melhorada e um acesso contextualizado à informação BIM do modelo sobreposto, permitindo identificar discrepâncias e verificar a conformidade construtiva.
A introdução deste tipo de tecnologia como ferramenta de apoio técnico no ciclo de vida da construção promove aumentos de produtividade e eficiência e constitui um passo importante para a digitalização do setor AECO. Ao melhorar a fiabilidade do alinhamento e simplificar a implementação, este trabalho visa contribuir para tornar as ferramentas de RA mais acessíveis aos trabalhadores e práticas em fluxos de trabalho baseados em BIM, promovendo a sua utilização em detrimento de métodos tradicionais.

1. Introdução

A adoção de ferramentas digitais, impulsionada pela digitalização da indústria do setor AECO, tem promovido melhorias significativas na eficiência e na qualidade dos processos construtivos [1]. Embora o BIM seja amplamente utilizado como suporte central de informação, a sua aplicação prática em obra permanece restrita, sobretudo no que respeita ao acesso contextualizado e à interpretação da informação por parte dos intervenientes no terreno [2]. Esta

lacuna compromete o seu potencial enquanto ferramenta de apoio à monitorização e controlo do processo construtivo.
Neste contexto, este trabalho apresenta a RA como uma abordagem eficaz para aproximar o modelo BIM da realidade construída, permitindo a sua visualização em escala real diretamente no local da obra. O artigo descreve o desenvolvimento de uma aplicação de RA para dispositivos *head-mounted display* (HMD), orientada para a monitorização do progresso de obra. A solução baseia-se num sistema de ancoragem espacial *markerless*, com âncoras persistentes adaptadas para funcionamento offline, assegurando uma sobreposição estável e fiável entre o modelo BIM e o ambiente construído.
Seguindo a introdução, o artigo inclui, no capítulo 2, uma revisão do estado da arte. O capítulo 3 define a arquitetura e metodologia empregados e a descrição do sistema de ancoragem proposto é apresentada nos capítulos 4 e 5. O capítulo 6 apresenta uma implementação piloto em obra e a discussão dos resultados obtidos. As conclusões são incluídas no capítulo 7.

2. Estado da Arte

A integração BIM-RA tem vindo a consolidar-se como uma das abordagens mais pragmáticas para disponibilizar informação digital a partir do estaleiro, permitindo comparar, em escala real, o *as-designed* com o *as-built* e reduzindo a fricção típica da consulta de plantas e modelos fora de contexto. Estudos recentes mostram que as aplicações de RA na construção concentram-se sobretudo em coordenação em obra, inspeção de qualidade, documentação e apoio à decisão, com impacto reportado na redução de retrabalho e na melhoria da comunicação entre equipas [3]. Do ponto de vista técnico, os sistemas BIM-RA enfrentam dois tipos de desafios: preparação do modelo para visualização e interação e alinhamento espacial.
No primeiro, o desafio recorrente é transformar modelos BIM detalhados em representações otimizadas para renderização em tempo real, sem perder a informação relevante para o utilizador (e.g., IDs, categorias, propriedades). Trabalhos recentes sobre integração de BIM com motores de jogo reforçam que o desempenho e a consistência do fluxo de dados continuam a ser fatores críticos para experiências de Realidade Mista (RM) fiáveis, sobretudo quando se pretende navegação fluida e manipulação de modelos em contexto real [4].
Na camada de alinhamento, a literatura identifica o registo espacial como o principal entrave à operacionalização em estaleiro. Abordagens *marker-based* (e.g., códigos QR, alvos) são simples e replicáveis, mas introduzem dependência de marcadores físicos e manutenção. Já as abordagens *markerless* (e.g., SLAM, mapeamento espacial) eliminam marcadores, mas enfrentam degradação em ambientes com geometria repetitiva, poeiras, oclusões e variações de iluminação. Um estudo recente sobre localização em RM discute limitações de métodos puramente visuais e aponta constrangimentos de soluções industriais baseadas em âncoras quando aplicadas a escalas maiores ou a cenários complexos [5].
Em paralelo, surgem contributos aplicados que integram RA com processos formais de inspeção e documentação. Em túneis, por exemplo, foi explorada RA para apoiar registos de inspeção e reduzir dependência de processos em papel, evidenciando ganhos na rastreabilidade e no tempo de reporte, mas mantendo o alinhamento como requisito essencial para credibilidade operacional [6]. No domínio de segurança, propostas recentes demonstram visualização em RA de requisitos e planos modelados em BIM, suportada por localização *markerless indoor–outdoor*, reforçando o potencial da RA como interface contextual para dados BIM em obra [7].

Na indústria, plataformas comerciais como a *Argyle* têm explorado mecanismos de *anchor-lock* com base em *Azure Spatial Anchors* para guardar pontos de alinhamento criados no terreno, e surgem soluções orientadas a projetos *industrial-strength* com foco explícito em BIM alinhado em RA [8]. Ainda assim, a dependência de conectividade e a persistência robusta das âncoras permanecem temas centrais, motivando investigação e desenvolvimento em estratégias de persistência, sincronização e operação *offline*, especialmente relevantes para estaleiros com restrições de rede.

3. Arquitetura e Metodologia

3.1 Arquitetura do Sistema

O sistema adota uma arquitetura que integra múltiplos padrões de *design* para lidar com diferentes aspetos das funcionalidades do *software*, assegurando que cada componente é otimizado para o seu papel específico, mantendo simultaneamente um sistema coeso e escalável. Esta arquitetura modular é composta por três elementos principais, para permitir uma divisão de responsabilidades bem definida e uma maior adaptabilidade às necessidades da implementação:

- **Aplicação de RA**: desenvolvida no motor de jogo *Unity* recorrendo ao padrão de design *Entity-Component-System*, que separa as partes constituintes em objetos, a informação a eles atribuída e aos sistemas que operam as mecânicas principais. Esta arquitetura, utilizada no desenvolvimento de jogos, é adequada à otimização do desempenho do *software* em dispositivos com menor capacidade computacional;
- **Base de dados e repositório *Cloud***: atuam como serviços de suporte ao armazenamento e sincronização de dados através de uma arquitetura de Microserviços. Este padrão é o mais adequado pela sua capacidade de suportar funcionalidades independentes, destacando-se pela modularidade, flexibilidade e escalabilidade, características que facilitam o desenvolvimento, a manutenção e a adaptação do *software*.
- ***Plugin* para *software* BIM (*Autodesk Revit*)**: beneficia de uma arquitetura MVVM *(Model-View-ViewModel*) devido à necessidade de uma interface complexa aliada a uma lógica robusta e independente, assentando numa estrutura organizada e da clara separação de responsabilidades, o que promove um desenvolvimento mais eficiente, manutenção simplificada, bem como maior escalabilidade e flexibilidade da aplicação.

Ao combinar estes padrões, o *software* beneficiará de uma arquitetura bem estruturada, de fácil manutenção e escalável, que aproveita os pontos fortes de cada padrão para abordar eficazmente os diferentes aspetos do sistema.

3.2 Metodologia de Integração BIM-RA

A metodologia adotada visa assegurar uma interoperabilidade eficiente entre o *software* de modelação BIM e a aplicação de RA para reduzir a fricção associada à transição entre aplicações, incentivando a sua utilização mais frequente em processos construtivos. Nesse sentido, é fundamental não só viabilizar a transferência de forma segura dos modelos entre o ambiente BIM e o ambiente aumentado, como também manter uma fonte de verdade para a informação alfanumérica ao longo do sistema. A Figura 1 evidencia o *pipeline* da integração

BIM-RA e o fluxo de dados entre as partes constituintes. Este inicia no ambiente de modelação BIM, onde, através do *plugin Autodesk Revit*, é criada a estrutura de organização por projetos que facilita a correta passagem dos ficheiros entre as aplicações. O mesmo atua como mecanismo de suporte em processos que incluem a organização dos diferentes modelos BIM e dos seus elementos construtivos, a preservação de identificadores e categorias dos elementos, a garantia da correspondência métrica e da escala real (1:1) e a conversão e exportação de toda a informação para formatos compatíveis com o motor de jogo (i.e., .obj, .mtl para informação geométrica e .json para informação alfanumérica).

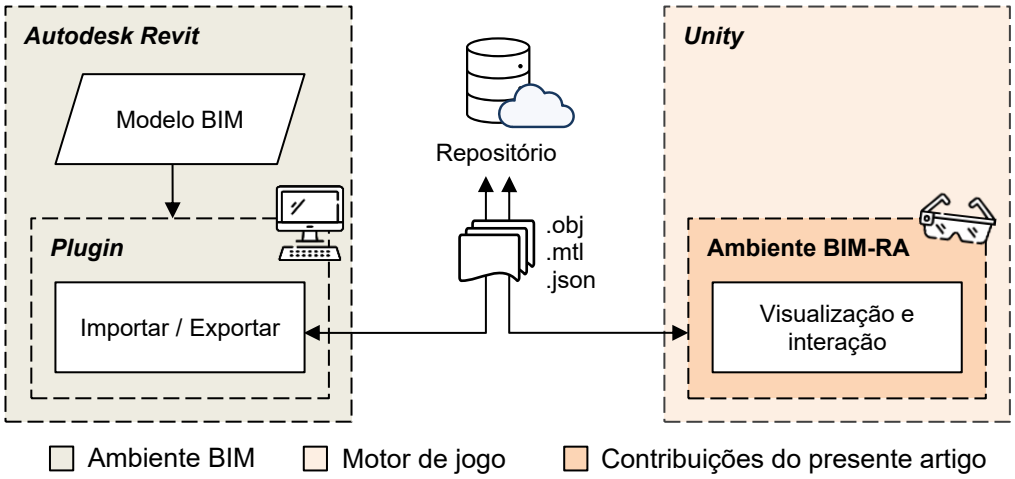


Figura 1: Fluxograma da metodologia utilizada.

Com a informação devidamente estruturada, a aplicação de RA recorre aos sensores integrados do dispositivo HMD, para apresentar ao utilizador os modelos 3D corretamente sobrepostos e ancorados. A comunicação entre os diferentes componentes do sistema é bidirecional, permitindo que ações realizadas em contexto de obra, como marcações de progresso ou comentários associados a elementos do modelo, sejam registadas e posteriormente refletidas no ambiente BIM, assegurando a consistência da informação ao longo do processo construtivo. O repositório *Cloud* funciona como mediador nessa transferência de informação e assegura que a qualquer momento há concordância nos dados apresentados aos utilizadores.

4. Sistema de Ancoragem

A definição do sistema de ancoragem representou uma etapa central no desenvolvimento da solução BIM-RA, uma vez que a fiabilidade do alinhamento espacial condiciona diretamente a utilidade da RA no setor AECO. O desenvolvimento do sistema de ancoragem seguiu uma metodologia iterativa, envolvendo a avaliação de diferentes abordagens com o objetivo de identificar uma solução capaz de garantir a criação, posicionamento e ancoragem fiável de modelos BIM em escala real, diretamente em contexto de obra.

4.1 Requisitos do Sistema

Os requisitos do sistema de ancoragem foram definidos em função das condições reais de utilização em estaleiro e das limitações inerentes à aplicação de RA em ambiente não

controlado. Nesse sentido, foi considerada essencial a robustez face à variabilidade das condições ambientais e a simplicidade de utilização por perfis não especializados. A solução deve também permitir a criação e manutenção de modelos BIM em escala real sem preparação prévia do local nem recurso a *hardware* adicional, garantindo simultaneamente a estabilidade do alinhamento durante a navegação do utilizador.

4.2 Abordagens *Marker-based* vs *Markerless*

Foram testadas diferentes estratégias que permitissem cumprir com os requisitos estabelecidos anteriormente. Abordagens baseadas em marcadores visuais (i.e, *markers*), como códigos QR, permitem um alinhamento inicial preciso entre o modelo digital e o ambiente físico. Ao fornecerem uma referência explícita e facilmente identificável, os marcadores contribuem para reduzir a ambiguidade no posicionamento e mitigam problemas de *drift* com a deslocação do utilizador pelo ambiente.

Em alternativa, abordagens *markerless* recorrem exclusivamente à sensorização integrada dos dispositivos HMD para o mapeamento e posterior reconhecimento do ambiente físico em redor do utilizador para estabelecer o alinhamento espacial. Este tipo de ancoragem elimina a necessidade de elementos físicos adicionais.

As primeiras tendem a ser mais adequadas a cenários controlados, onde a geometria e as condições de visibilidade se mantêm estáveis. Por outro lado, métodos *markerless*, baseados em redes de âncoras espaciais virtuais, respondem de forma mais eficaz às exigências de estaleiros ativos, caracterizados por alterações frequentes e limitações operacionais, permitindo uma utilização mais integrada ao longo do ciclo construtivo.

Após consideração, foi adotado um sistema final de ancoragem *markerless* com funcionamento *offline*, que preserva os princípios de persistência e robustez da ancoragem espacial. Com a devida preparação dos modelos BIM, destaca-se de soluções como o Argyle [8] na medida em que não dependem do posicionamento manual de âncoras a partir da aplicação de RA nem da utilização de rede WiFi em todos os locais da obra.

5. Funcionamento do Sistema de Ancoragem

O sistema de ancoragem desenvolvido deve priorizar a robustez e acautelar o *drift* causado pelas movimentações do utilizador. O sistema auxiliar de rastreamento de cabeça, composto por quatro camaras de luz visível, um sensor de profundidade por tempo-de-voo, uma IMU (unidade de medição inercial) e uma camara [9], é essencial para calcular o deslocamento do utilizador no espaço virtual. No entanto, testes anteriores revelam erros acumulados na ordem de alguns centímetros após 5 metros percorridos [10], justificando a necessidade de mecanismos adicionais de ancoragem espacial para garantir a estabilidade e a precisão do alinhamento.

5.1 Criação do Ambiente Virtual e Rastreamento do Utilizador

O ambiente virtual é definido numa escala de 1 unidade por 1 metro, posicionando o utilizador na origem virtual. À medida que o utilizador se desloca, o sistema de rastreamento de cabeça gera uma malha de pontos de referência, armazenando informações visuais para reajustar a posição. Em sessões futuras, caso a aplicação seja iniciada num espaço já visitado, o utilizador é automaticamente reposicionado na posição virtual correspondente. Além disso, erros

acumulados durante deslocamentos são mitigados ao regressar a pontos familiares, ajustando os pontos da malha mais afastados.

5.2 Princípios da Ancoragem Espacial

O sistema de ancoragem é composto por cinco elementos fundamentais:

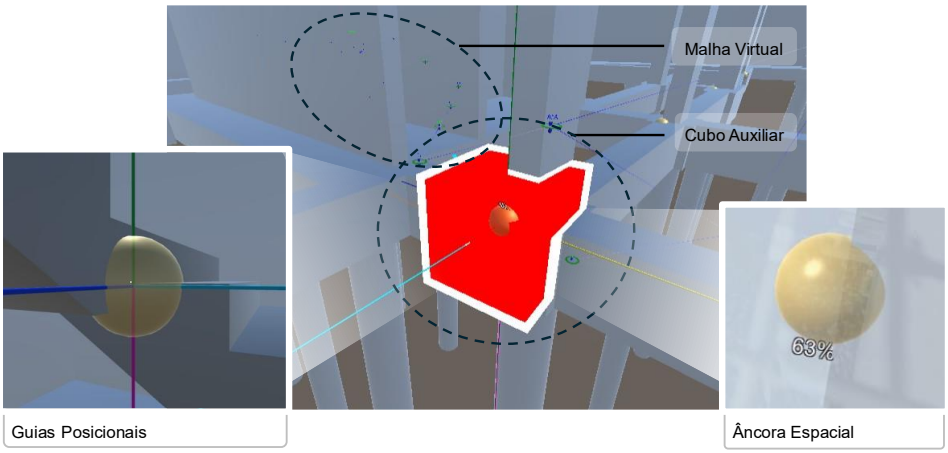


Figura 2: Visão geral do Sistema de Ancoragem.

- **Âncoras**: elementos esféricos colocados no projeto BIM ficam inativas até serem interagidas pela primeira vez em alguma sessão da aplicação. Servem como ponto de ligação entre uma coordenada virtual e real, afixando-se à coordenada digital em que são criadas;
- **Malha virtual**: criada automaticamente com a deslocação do utilizador, representa o movimento do mesmo pelo espaço virtual e guarda informação visual do ambiente circundante;
- **Cubo auxiliar**: forma-se em redor das ancoras que estejam a ser usadas como referência para reajustar a posição do modelo à realidade. A cor e o tamanho representam o peso que cada ancora têm a cada momento no reajuste do espaço virtual em volta do utilizador;
- **Guias Posicionais**: linhas orientadoras de auxílio ao ajuste do posicionamento das âncoras;
- ***Start Point***: elemento auxiliar utilizado apenas na primeira instanciação do modelo que indica a posição ideal do utilizador em obra para o correto posicionamento inicial do modelo. Após a primeira instanciação, as âncoras ficam encarregues de ajustar a localização do modelo virtual e o Start Point torna-se desnecessário.

Para apoiar o sistema de posicionamento incorporado no dispositivo HMD, utilizam-se objetos virtuais que estabelecem correspondências entre pontos no espaço virtual e no espaço físico. Neste projeto, adotou-se uma abordagem baseada exclusivamente em âncoras espaciais digitais, que recorrem à referenciação da malha espacial para ajustar o alinhamento global da cena, preservando a integridade geométrica dos modelos e objetos virtuais.
Uma vez que estas âncoras não se encontram associadas diretamente aos modelos, mas sim a coordenadas do espaço virtual, o realinhamento com o ambiente físico é efetuado através do deslocamento do sistema de coordenadas subjacente, em vez de distorcer individualmente os objetos ou mover apenas subconjuntos da cena.

Para executar estes alinhamentos, o utilizador dispõe de ferramentas que permitem mover e rodar âncoras existentes. Adicionalmente, é possível criar ou remover âncoras conforme necessário. Durante a manipulação, são apresentados guias visuais correspondentes aos eixos de transformação e ao centro da âncora, fornecendo referências espaciais que auxiliam na execução precisa destas operações.

5.3 Consistência e Persistência do Alinhamento Espacial

Esta abordagem melhora a consistência espacial em cenários onde o utilizador se desloca por múltiplas localizações num mesmo ambiente, reduzindo o erro acumulado relativamente ao ponto de origem através do uso de âncoras espaciais.

A perda de referências visuais pelas câmaras pode levar à redefinição da origem do sistema, afetando temporariamente o alinhamento dos modelos. Da mesma forma, iniciar a aplicação num local não previamente observado pode resultar na criação de uma nova origem, com risco de perda de alinhamentos anteriores. Contudo, o regresso a locais previamente reconhecidos permite recuperar o alinhamento original, sendo ainda disponibilizado um mecanismo de reposicionamento manual quando necessário.

Quanto à persistência entre sessões, uma vez que as âncoras e malhas espaciais são armazenadas localmente no dispositivo, e desde que um local não sofra alterações significativas, o alinhamento é restaurado automaticamente, dispensando reajustes manuais.

5.4 Limitações do Sistema

O sistema de ancoragem apresentou algumas limitações que afetaram o seu desempenho global. Em particular, o seu funcionamento mostrou-se dependente da qualidade e fiabilidade da sensorização do *hardware* utilizado, condicionando a sua utilização em diferentes dispositivos HMD. Verificou-se ainda sensibilidade às condições de luminosidade do ambiente envolvente, o que influencia o desempenho do rastreamento visual em contextos de obra com iluminação variável. Adicionalmente, o sistema requer um *setup* prévio realizado através do software BIM, introduzindo uma etapa adicional inevitável no processo de preparação.

6. Implementação Piloto e Validação

Nesta secção é apresentado uma implementação piloto, com o objetivo de validar a metodologia definida anteriormente e avaliar a aplicabilidade da solução BIM-RA em contexto real de obra, enquanto apoio à monitorização do progresso e à verificação construtiva. Este caso de uso explora a utilização das ferramentas desenvolvidas para a sobreposição, visualização e interação com três modelos BIM de diferentes especialidades: Estruturas, Mecânica e Hidráulica; correspondentes ao projeto em execução de um edifício habitacional em altura. A aplicação do sistema decorreu na fase inicial da construção, permitindo avaliar o sistema sob diferentes condições de luminosidade, ruído e humidade.

Para esta implementação, o modelo foi preparado no *Autodesk Revit* conforme a Figura 3 de forma a respeitar as regras definidas para a correta sobreposição do modelo e disponibilizado à aplicação de RA através do fluxo de integração descrito na secção 3.2., garantindo a correspondência métrica e semântica entre o modelo digital e o ambiente físico. A visualização foi efetuada em escala real, sobreposta à construção existente, através do dispositivo *HoloLens*

2, selecionado por corresponder aos critérios de sensorização selecionados previamente e pela compatibilidade com capacetes de proteção.

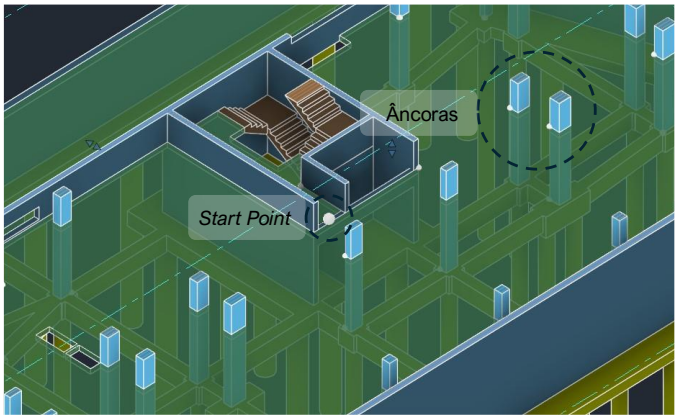


Figura 3: Setup dos elementos de ancoragem em ambiente BIM (*Autodesk Revit*).

Após o carregamento do modelo e a configuração inicial do sistema de ancoragem espacial, foram iniciados testes às principais ferramentas desenvolvidas para apoio à análise em obra. Foram demonstradas as funcionalidades de navegação no espaço aumentado, filtragem de elementos, interação direta com os elementos BIM e ferramentas de medição, permitindo assinalar elementos como concluídos, identificar desvios face ao projeto e registar comentários associados aos componentes do modelo (ver Figura 4).

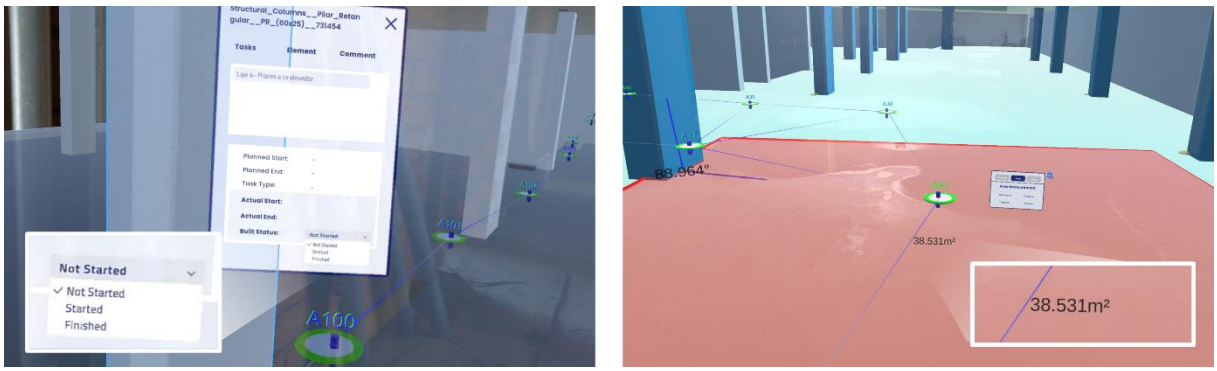


Figura 4: Interação com elementos (à esquerda) e medição de áreas (à direita).

No decorrer da implementação, foram recolhidos testemunhos por parte dos utilizadores para aferir as vantagens da utilização da tecnologia face aos processos habituais. Depreendeu-se que a interface imersiva da RA aliada a uma ancoragem robusta (ver Figura 5) proporcionou uma compreensão visual clara e imediata do estado atual da construção, facilitando a comparação direta entre o modelo BIM e o edifício. Esta abordagem revelou-se eficaz na identificação precoce de inconformidades e contribuiu para a redução do tempo habitualmente necessário à perceção do progresso de obra. As funcionalidades de filtragem e navegação demonstraram particular relevância em contextos multidisciplinares, permitindo isolar conjuntos específicos de elementos e adaptar-se aos objetivos das visitas à obra. Adicionalmente, o *feedback* recebido ajudou a identificar o *pipeline* bidirecional de dados BIM como sendo crucial para manter a

organização e a sincronização da informação transmitida entre as equipas. Com os testes realizados foi possível verificar que a estrutura de dados foi mantida entre a RA e o ambiente BIM e a associação aos respetivos elementos construtivos foi correta.
No entanto, apesar do progresso alcançado na área de UX (*User Experience*), não foi possível eliminar por completo a curva de aprendizagem associada, tendo sido, ocasionalmente, necessária a intervenção da equipa de desenvolvimento para o esclarecimento de dúvidas.
No capítulo da ancoragem, condições mais extremas de baixa luminosidade causaram a perda temporária dos pontos de referência, originando grandes desvios na sobreposição. No entanto, com o restabelecimento de condições mais ideais verificou-se prontamente a reposição correta da ancoragem. Em casos de luz solar direta, a visibilidade dos hologramas era muito reduzida, podendo esse fator ser mitigado pela colocação de um acessório que escurecia as lentes do dispositivo. Episódios de chuva intensa condicionaram também a utilização do sistema por motivos de segurança e da falta de impermeabilização dos HoloLens 2.



Figura 5: Sobreposição do modelo BIM de Estruturas.

De forma geral, o caso de estudo foi bem-sucedido no objetivo principal de confirmar que a solução proposta se encontra funcional e adequada ao contexto de obra, apesar das limitações enunciadas. Foi validada a metodologia adotada e evidenciado o potencial da RA como ferramenta de apoio à monitorização e gestão do progresso em fluxos de trabalho baseados em BIM, mas com uma larga margem para possíveis atualizações no futuro.

7. Conclusão

A crescente procura por soluções digitais que aproximem modelos BIM da realidade construída reforça o papel da RA como tecnologia de apoio em contexto operacional. Neste trabalho foi apresentada uma abordagem baseada em RA que permite a sobreposição de modelos BIM em escala real no local de construção, tendo como principal contributo o desenvolvimento de um sistema de ancoragem *markerless* robusto e persistente.
Os avanços alcançados ao nível do sistema de ancoragem demonstram que a fiabilidade do alinhamento espacial é um fator determinante para a continuidade e escalabilidade de implementações de RA em ambientes reais. Ao eliminar a dependência de marcadores físicos e de conectividade contínua, a solução proposta reforça a aplicabilidade prática da RA não

apenas no setor AECO, mas também em outros domínios que exigem precisão espacial e persistência ao longo do tempo.
Apesar dos desafios técnicos associados à preparação de modelos e ao desempenho em dispositivos HMD, os resultados obtidos evidenciam que sistemas de ancoragem bem concebidos constituem a base para a adoção sustentada da RA como ferramenta operacional.

8. Agradecimentos

Este documento é emitido no âmbito e para os fins do projeto CRIARTE. Este projeto é cofinanciado pelo programa Portugal 2030, ao abrigo da referência COMPETE2030-FEDER-01192200. Este trabalho tem o cofinanciamento do PRR – Plano de Recuperação e Resiliência e União Europeia –www.recuperarportugal.gov.pt | PRR - Investimento RE-C05-i02: Missão Interface - CoLAB.

Referências

[1] W. Wang and H. Chen, "Integration of building information modeling and project management in construction project life cycle," Automation in Construction, vol. 147, p. 104832, 2023, doi: 10.1016/j.autcon.2023.104832.
[2] J. Whyte and T. Hartmann, "How digitizing building information transforms the construction site," Construction Management and Economics, vol. 40, no. 2, pp. 99–113, 2022.
[3] Z. Xu, Z. Feng, M. B. Jelodar e B. H. W. Guo, "Augmented reality applications in construction productivity: A systematic literature review," Autom. Constr., vol. 150, p. 102798, 2024, doi: 10.1016/j.aei.2024.102798.
[4] M. Radanovic, K. Khoshelham e C. Fraser, "Aligning the real and the virtual world: Mixed reality localisation using learning-based 3D–3D model registration," Autom. Eng. Inf., vol. X, 2023, doi: 10.1016/j.aei.2023.101960.
[5] O. Melnyk, "Augmented reality for enhanced documentation and inspection in tunnel construction," Tunnelling & Underground Space Technol., vol. X, 2024.
[6] N. H. Pan et al., "Integration of Augmented Reality with Building Information Modeling for construction inspection and monitoring," Build. Eng. J., vol. 14, no. 3, pp. 612–xxx, 2024.
[7] L. Binni, M. Vaccarini, F. Spegni, L. Messi e B. Naticchia, "An Automatic Registration System Based on Augmented Reality to Enhance Civil Infrastructure Inspections," Buildings, vol. 15, no. 7, p. 1146, 2025, doi:10.3390/buildings15071146.
[8] Argyle, "Argyle – Construction Intelligence Platform," *Argyle*, [Online]. Disponível: https://www.argyle.build/. [Acedido em: 7 de janeiro de 2026].
[9] Microsoft, "HoloLens 2 hardware," *Microsoft Learn*, [Online]. Disponível: https://learn.microsoft.com/en-us/hololens/hololens2-hardware. [Acedido em: 7 de janeiro de 2026].
[10] T. Scargill, G. Premsankar, J. Chen, and M. Gorlatova, "Here to Stay: A Quantitative Comparison of Virtual Object Stability in Markerless Mobile AR," in Proc. 2022 2nd International Workshop on Cyber-Physical-Human System Design and Implementation (CPHS), Milan, Italy, May 2022, pp. 24–29, doi:10.1109/CPHS56133.2022.9804545.

12345

O “GÉMEO DE CALIBRAÇÃO”: UMA NOVA TIPOLOGIA NA MATURIDADE DOS GÉMEOS DIGITAIS

Diogo F. R. Parracho, Mohamed Nour El-Din, João Poças Martins

ptBIM

O "GÉMEO DE CALIBRAÇÃO": UMA NOVA TIPOLOGIA NA MATURIDADE DOS GÉMEOS DIGITAIS

Diogo F. R. Parracho [(1)], Mohamed Nour El-Din [(2)], João Poças Martins [(3)]

(1) CONSTRUCT-GEQUALTEC, FEUP, Porto, Portugal. 0000-0003-0413-6178
(2) CONSTRUCT-GEQUALTEC, FEUP, Porto, Portugal. 0000-0003-0890-9043
(3) CONSTRUCT-GEQUALTEC, FEUP, Porto, Portugal. 0000-0001-9878-3792

Resumo
Os gémeos digitais são cada vez mais relevantes no setor AECO (Arquitetura, Engenharia, Construção, e Operação), no entanto, a sua terminologia é aplicada de forma inconsistente. Mesmo as classificações mais comuns apresentam ambiguidades, dificultando a distinção entre diferentes níveis de maturidade de geminação digital, contribuindo assim para interpretações divergentes. Para além disso, a fase crítica de calibração de modelos digitais com recurso a dados recolhidos *in situ* carece de um reconhecimento formal como um grau de maturidade distinto, apesar de ser amplamente aplicada na prática.
Este artigo propõe a formalização do "Gémeo de Calibração" (*Calibration Twin*) como uma tipologia intermédia que utiliza dados provenientes de sistemas de monitorização instalados num ativo físico para ajustar e validar modelos virtuais. Esta fase carateriza-se ainda por um fluxo unidirecional de informação sem capacidade de influenciar o ativo real, posicionando-se conceptualmente entre um modelo digital estático e configurações mais avançadas de geminação digital.
Ao reconhecer esta etapa como um nível de maturidade distinto, destaca-se o papel fulcral da calibração no desenvolvimento de gémeos digitais, reforçando ainda a precisão terminológica necessária para evitar ambiguidades recorrentes. A proposta contribui também para uma taxonomia mais coerente e com potencial de aplicação transversal a outros setores de atividade.

1. Introdução

A origem do conceito de geminação digital remonta à década de 1960, quando a NASA procurava simular condições espaciais na preparação para as missões do programa Apollo. Em 2002, Michael Grieves, da Universidade de Michigan, identifica os elementos necessários para a criação de um gémeo digital: o objeto real, o objeto digital, e um sistema capaz de transferir fluxos de informação entre ambas as partes [1], [2]. A terminologia "*digital twin*" é formalizada em 2010 pela NASA [1]–[4] contudo, apesar do vasto crescimento do interesse da academia e

da indústria a partir de 2017 [2], [5], o conceito tornou-se demasiado lato. A bibliografia apresenta múltiplas definições de um *digital twin*, mesmo fora do domínio do setor AECO [1], [3], [6]–[8]. Neste caso em particular, o termo tornou-se tão amplo que é comum ser confundido com os modelos BIM [7] ou classificado como um "chavão tecnológico" [9]. A falta de padronização do conceito tem sido apontada como uma barreira significativa no progresso dos gémeos digitais, contribuindo para discrepâncias entre projetos [1], [5], [10].
Recentemente, foi elaborada a proposta de norma europeia prEN 18162:2025, que definiu um gémeo digital no setor AECO como "uma representação digital sincronizada com o estado físico do ativo, capaz de suportar visualização, simulação, monitorização, previsão e controlo" [11], [12]. É de notar que esta proposta não utiliza nomenclatura já consolidada no setor, como é o caso da popular trilogia modelo digital, sombra digital e gémeo digital [3], [5], [13].
Apesar da crescente implementação de gémeos digitais e do desenvolvimento de diferentes tipologias para distinguir os seus estágios de maturidade, existe uma fase crítica que, apesar de sobejamente implementada na prática, não tem uma nomenclatura própria: a fase da calibração. É neste passo que os modelos digitais são alinhados com os dados provenientes do mundo físico, sendo por isso fundamental para garantir a confiança, fidelidade e utilidade da geminação digital. Deste modo, este artigo procura reconhecer e formalizar esta etapa de calibração, posicionando-a de forma clara na taxonomia dos gémeos digitais. Pretende-se assim estabelecer uma base de classificação que distinga os sistemas digitais orientados para a calibração de modelos digitais estáticos e de configurações associadas a níveis de maior maturidade.

2. Enquadramento à Geminação Digital

2.1. Distinção entre BIM e Digital Twin

O setor AECO tem assistido a uma revolução digital, batizada de Construção 4.0, impulsionada sobretudo pela crescente adoção da metodologia BIM [11], [14]. O BIM é definido pela norma ISO 19650 como "uma representação digital partilhada de um ativo construído para facilitar os processos de projeto, construção e operação, formando uma base confiável de apoio à decisão" [15]. De acordo com Opoku et al. [13], a esmagadora maioria da literatura referente ao desenvolvimento de gémeos digitais no setor AECO utiliza modelos BIM como base, tanto em termos de geometria como em termos de informação não-gráfica. Shahzad et al. [8] reforçam esta ideia, argumentando que o desenvolvimento de gémeos digitais será inevitavelmente influenciado pela crescente adoção do BIM no setor. No entanto, um gémeo digital não tem necessariamente origem num modelo BIM [12].
A principal caraterística de um gémeo digital é a sua natureza dinâmica, em contraste com a representação estática dos modelos digitais, como o BIM [8], [10]. Num cenário ideal, isto significa que qualquer alteração no objeto real será refletida em tempo real no objeto digital e vice-versa, resultando num fluxo bidirecional de informação, normalmente graças a sensores e atuadores instalados no mundo físico [2], [5], [8], [10]. Deste modo, o gémeo digital é capaz de agir automaticamente de acordo com a envolvente em que está inserido, aliando ainda ferramentas de análise preditiva a partir de dados históricos [2], [8], [10]. Assim, o processo de geminação digital tem maior aplicabilidade na fase de operação e manutenção de ativos, sendo também relevante durante a construção [13], [16]. É, no entanto, um tópico pouco explorado na fase de desconstrução e demolição [13]. Segundo Nour El-Din et al. [2], o principal foco assenta

em casos aplicados à gestão de ativos (incluindo do ponto de vista energético e do conforto térmico), seguido da monitorização estrutural do edificado e da gestão de obra.

2.2. Tipologias e Níveis de Maturidade de Gémeos Digitais

Existem várias propostas para definir o nível de maturidade de um gémeo digital, sem que haja uma unificação consensual, no entanto, todas convergem na tentativa de estabelecer níveis relativos de desenvolvimento e funcionalidade por comparação a um estado idealizado [5], [10]. Na ausência de uma definição padronizada do que constitui, efetivamente, um *digital twin*, torna-se um desafio nomear os seus estágios de maturidade. Mesmo com tentativas recentes de normalização, nomeadamente pela ISO/IEC 30173:2023, que define os conceitos e a terminologia dos gémeos digitais, e pela prEN 18162:2025, que adapta ao setor da construção, Liu et al. [5] consideram que estes esforços estão atrasados face à realidade do mercado. No setor AECO, a tríade modelo digital (*digital model*), sombra digital (*digital shadow*), e gémeo digital (*digital twin*) mantém-se a nomenclatura mais reconhecida mundialmente [3], [5], [13], contrastando com a visão agregadora da proposta prEN 18162:2025, que enquadra todas estas definições sob o conceito de *Asset Digital Twin* (ADTw) [12], indo numa direção contrária às várias propostas a apresentar em seguida.

Assim, um modelo digital corresponde ao estágio inicial da geminação digital, caraterizando-se pela inexistência de uma ligação que permita a interligação automática direta entre o objeto real e o seu correspondente digital, ou seja, qualquer alteração feita no mundo físico não tem qualquer impacto no digital. A existir um fluxo de informação entre objetos, este é efetuado de forma manual [3], [4], [9], [10], [13], [17]–[19]. Embora seja comum que este modelo seja desenvolvido numa fase que antecede a construção, correspondente ao projeto [3], [10], pode também corresponder a uma edificação pré-existente [3]. Este modelo digital de projeto, ainda sem um correspondente físico, é designado "Pré-Digital Twin" por Madni et al. [20]. Por sua vez, a prEN 18162:2025 denomina de *Asset Digital Twin Prototype* (ADTwP) um modelo que descreve um ativo construído desde a fase de projeto até ao fim da obra, na fase da entrega [12].

Tanto a sombra digital como o gémeo digital têm origem no modelo digital, acrescentando-lhe um fluxo automático de transferência de informação entre o ativo físico e o virtual. A principal diferença entre ambos os conceitos assenta no facto de o gémeo digital permitir uma ligação bidirecional automática da informação entre os mundos real e virtual, contrariamente à sombra digital, que é apenas unidirecional, sem que uma alteração ao objeto digital seja refletida no objeto real, o que, por isso, requer uma ação manual [3], [4], [21], [7]–[10], [13], [17]–[19]. É, no entanto, comum existir uma confusão entre termos, sendo que a maioria dos modelos descritos na literatura não alcança um nível de maturidade suficiente para ser considerado como um gémeo digital, tratando-se, na realidade, de sombras digitais [3], [5], [10].

Além desta taxonomia "clássica" de Kritzinger et al. [19], alguns autores propõem classificações alternativas. Mousavi et al. [10] estende este espetro com mais dois níveis acima do gémeo digital: o "gémeo digital autónomo", e o "gémeo digital federado". O primeiro implementa algoritmos de inteligência artificial e aprendizagem computacional não-supervisionada, para operar de forma autónoma, identificar padrões, prever comportamentos e, ainda, tomar decisões. Já o segundo integra múltiplos gémeos digitais autónomos, permitindo uma gestão integrada de sistemas complexos (e.g., cidades inteligentes).

Liu et al. [5] analisam diversas propostas de taxonomia de geminação digital em diversas áreas da engenharia, notando que níveis superiores implicam maior complexidade técnica, requisitos funcionais mais exigentes e riscos financeiros acrescidos. Para além disso, os autores definem

o seu próprio modelo de maturidade de geminação digital, subdividido em cinco níveis: o modelo digital no nível 0, seguido da sombra digital e do gémeo digital, onde se inicia a bidirecionalidade do fluxo de informação. A lógica dos graus superiores é idêntica à descrita por Mousavi et al., neste caso com um "gémeo digital cognitivo" com capacidades autónomas e de autodiagnóstico suportadas por algoritmos de inteligência artificial, seguindo-se por último o "gémeo digital federado", que agrega os demais num único ecossistema, permitindo aplicações interdomínio e a gestão de sistemas mais complexos. Os autores reforçam ainda a importância da cibersegurança no domínio da geminação digital.

Madni et al. [20] propõem quatro níveis de maturidade, desde modelos virtuais básicos sem qualquer contraparte física, até aos gémeos digitais inteligentes com capacidades de aprendizagem não-supervisionada e com autonomia operacional. O gémeo digital tradicional corresponde ao nível 2, interligando os dados de forma bidirecional entre o ativo físico e o mundo virtual. O terceiro nível, o "gémeo digital adaptativo" acrescenta a aprendizagem computacional supervisionada adaptada ao utilizador, ao passo que o nível superior, o "gémeo digital inteligente", apresenta elevados graus de autonomia e de capacidade cognitiva.

Elfarri et al. [22] definem seis classes de maturidade de geminação digital de acordo com as suas funcionalidades, aplicadas a uma habitação monitorizada por múltiplos sensores e cujo modelo BIM é integrado em ambiente de realidade virtual (VR). O nível inicial ("independente") corresponde a um modelo virtual sem qualquer ligação ao ativo físico, enquanto o seguinte ("descritivo") já incorpora os dados de monitorização e atualiza o respetivo estado. O "gémeo digital diagnóstico" identifica causas de anomalias, o "preditivo" antecipa comportamentos futuros com base em modelos de análise preditiva, enquanto o "prescritivo" recomenda ações para a melhoria do desempenho. O nível superior, o "autónomo", combina as capacidades de todos os anteriores, atuando ainda de forma independente com base em inteligência artificial. Além disso, os autores utilizam outros termos fora das classes de maturidade, nomeadamente o "irmão digital" (*digital sibling*) que corresponde a um modo *offline* do gémeo digital, ou seja, desligado da operação de monitorização, usado para simulações, análises de cenários hipotéticos, e avaliações de risco, sem necessidade de alterações diretas na operação real. Já o termo "fio digital" (*digital thread*) corresponde a uma linha contínua de dados e previsões geradas pelo *digital twin* ao longo do tempo.

Deng et al. [16] estudam a evolução do BIM até aos gémeos digitais, subdividindo em cinco fases de maturidade: BIM (nível 1), Simulações suportadas por BIM (nível 2), BIM integrado com sensores (nível 3), BIM integrado com inteligência artificial (nível 4), e, por último, os gémeos digitais (nível 5). Os autores concluem que são raros os estudos que chegam aos estágios mais avançados, concentrando a maioria nos patamares intermédios (2 e 3).

Asare et al. [18] adaptam o conceito de *Level of Development* (LOD) do BIM ao contexto da geminação digital, propondo a taxonomia "BIM-based DT LOD", que evolui do LOD 100 até ao 500. Os autores sugerem que o LOD 300 deve ser considerado como nível inicial para fins de monitorização em tempo real. A proposta foi avaliada através de um inquérito a profissionais do setor AECO, da academia e da indústria, obtendo uma taxa de aceitação elevada, embora com algum ceticismo da parte dos profissionais da indústria não envolvidos em atividades de investigação e desenvolvimento.

No panorama nacional, Mêda et al. [21] propõem uma visão de gémeo digital incremental (iDTw), composto por sete graus de maturidade, do nível 100 ao 500. Neste caso, os primeiros três níveis não integram dados de sensorização [17], [21], que surgem a partir do "*Sensored Twin*" (nível 300), mas somente com uma integração automática unidirecional [21]. Deste

modo, a bidirecionalidade do iDTw inicia-se no "*Responsive Twin*" (nível 350), pese embora apenas no nível seguinte se incorpore a inteligência artificial no processo, com supervisão humana. Finalmente, o "*Intelligent Twin*" (nível 500) representa uma integração de dados totalmente automatizada e personalizada, dispensando intervenção humana [17], [21]. Calvetti et al. [17] expandem posteriormente o conceito de iDTw de forma a aferir os requisitos necessários em cenários reais, sob o ponto de vista do humano, da bidirecionalidade, da segurança, da inteligência artificial e do ambiente de dados.

Sugiyama et al. [23] apresentam uma proposta para a definição de gémeos digitais com base em quatro atributos: fidelidade do modelo, sincronização, inteligência, e autonomia. Por sua vez, cada um destes atributos está subdividido em quatro níveis, de acordo com os respetivos graus de maturidade. Esta abordagem matricial, designada *heritage digital twin*, é particularmente flexível, permitindo até 256 combinações, evitando limitar a geminação digital a uma taxonomia linear rígida. O método é posteriormente ilustrado em quatro casos de estudo portugueses. Apesar de inicialmente concebido para fins patrimoniais, os autores salientam que poderá ser adaptado a outras finalidades também.

Apesar das múltiplas propostas para a definição dos níveis de geminação digital convergirem na sua maioria em termos lógicos, é de notar a falta de uma categoria específica para a calibração e sincronização dos dados adquiridos *in situ* com o mundo virtual. Este procedimento está, no entanto, implícito, pois constitui um passo crítico no desenvolvimento de um gémeo digital [9], [24]–[26]. Assim, torna-se pertinente formalizar este estado transitório, posicioná-lo devidamente na taxonomia da geminação digital e atribuir-lhe uma nomenclatura própria.

3. O "Gémeo de Calibração"

O "*Calibration Twin*" é um conceito prático amplamente implementado e consolidado, mas, até ao momento, sem o devido reconhecimento em nenhuma das propostas analisadas relativas à temática dos níveis de maturidade de um gémeo digital. Embora o termo tenha sido previamente utilizado pela equipa de investigação em [27] para classificar casos aplicados à construção modular digital, nesse trabalho, funcionava apenas como uma etiqueta operacional de análise em que dados reais de monitorização eram utilizados para calibrar ou validar modelos digitais. O presente artigo constitui, assim, a primeira proposta de formalização do "*Calibration Twin*" como uma tipologia própria, com critérios de identificação definidos e posicionamento explícito nas taxonomias de maturidade dos gémeos digitais. Por uma questão de simplicidade e de melhor enquadramento, este conceito será enquadrado na tríade de Kritzinger et al. [19].

O "*Calibration Twin*" é um modelo digital que integra dados provenientes de campanhas de monitorização instaladas num ativo real, com o objetivo de atualizar parâmetros e validar o modelo através do alinhamento entre valores medidos e simulados previamente (e.g., temperaturas, vibrações). Este processo organiza-se tipicamente em eventos de calibração, podendo envolver fluxos automáticos ou recolhas manuais de dados (e.g., *data loggers* em zona sem conexão à rede). Assim, esta proposta de tipologia corresponde a um modelo calibrado com documentação do grau de ajuste e incerteza.

O "*Calibration Twin*" vai além dum simples modelo digital, ao incorporar a componente de sensorização. Difere da sombra digital, pois esta carateriza-se sobretudo pela replicação do estado do ativo para fins operacionais, com sincronização contínua ou quase em tempo real, ao passo que o "gémeo de calibração" se centra exclusivamente na atualização de parâmetros e na

validação do modelo. Embora esta abordagem possa apoiar processos de tomada de decisão a jusante, essa não é a sua função principal, nem implica qualquer influência direta sobre o ativo físico. Por consequência, o fluxo de informação será apenas unidirecional (do real para o virtual), não constituindo, no entanto, um sistema operacional espelhado do estado físico.
Assim, o "*Calibration Twin*" constitui um estágio intermédio distinto da geminação digital, entre o modelo digital estático e a sombra digital, preenchendo uma lacuna conceptual relevante na taxonomia. Este estado digital pode ser identificado quando se têm os seguintes elementos:

- Modelo digital (não necessariamente um modelo BIM)
- Dispositivos de aquisição contínua de dados instalados no ativo físico
- Fluxo de informação unidirecional (do mundo real para o virtual), automático ou manual
- Processo de calibração e validação dos dados (incluindo comum comparação entre valores medidos e simulados, podendo envolver avaliação de incerteza)
- Possível suporte a processos de tomada de decisão, ainda que sem influência direta sobre o ativo físico

A Figura 1 ilustra esta nomenclatura, proposta anteriormente pela equipa de investigação [27]:

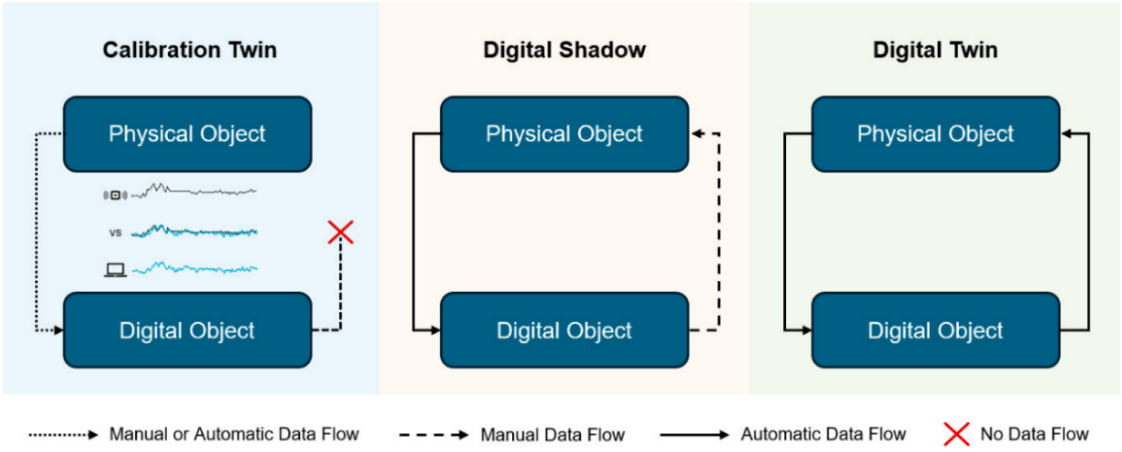


Figura 1: Nomenclatura de geminação digital, incluindo o "gémeo de calibração" [27]

A pertinência desta tipologia pode ser ilustrada, por exemplo, através de uma aplicação no domínio das unidades habitacionais prefabricadas com sistemas solares integrados. Vassiliades et al. [28] analisam uma unidade "Pre-Fab ECO Smart House" com integração de um sistema híbrido fotovoltaico/térmico (PV/T), recorrendo a simulações dinâmicas em TRNSYS para avaliar o comportamento energético, térmico e económico da solução. O estudo é particularmente relevante para esta proposta porque combina um modelo digital de desempenho do edifício, uma unidade física prefabricada, sensores de temperatura integrados no sistema PV/T, e a comparação entre cenários simulados com e sem integração do sistema. Embora o objetivo principal do estudo seja a avaliação do desempenho da solução e não a formulação explícita de uma nova tipologia de gémeo digital, este tipo de configuração demonstra claramente a necessidade de uma categoria intermédia: ultrapassa um modelo digital estático, porque se apoia numa representação dinâmica do ativo e em dados físicos do sistema monitorizado, mas não corresponde a uma sombra digital operacional, pois não procura espelhar continuamente o estado do ativo nem fechar um ciclo de atuação sobre o edifício. A

sua finalidade dominante é a avaliação, ajuste e validação do modelo de desempenho, aproximando-se, assim, da lógica proposta para o "*Calibration Twin*".
Esta tipologia encontra-se, deste modo, na base do processo de geminação digital, precedido apenas pelo modelo virtual. Sem a existência deste procedimento, não seria possível almejar patamares superiores rumo a um verdadeiro *digital twin* [9], [24]–[26]. No cenário ideal, os dados recolhidos pelo sistema de monitorização devem permitir a calibração e a atualização automáticas do modelo digital [25]. A calibração poderá, no entanto, não ser um processo direto e necessitar primeiramente de uma avaliação da sua incerteza via métodos estatísticos, comparando os valores das campanhas de medição aos dados de simulação numérica, a título de exemplo, do ponto de vista estrutural com modelos de elementos finitos (FEM) [24], [25], ou da térmica e energia com modelos BEM (*Building Energy Modelling*) [26], [29].
Deste modo, o "gémeo de calibração", enquanto pilar fundamental no ciclo de vida de um gémeo digital, utiliza dados empíricos para afinar a precisão dos modelos, sendo por isso uma peça fulcral para posteriores análises preditivas e aplicação de medidas corretivas, por exemplo. Apesar de presente nos níveis superiores de geminação, a formalização do "gémeo de calibração" como uma etapa própria permite representar de forma mais rigorosa a realidade operacional, clarificando o papel crítico da validação empírica na transição para níveis de maturidade de gémeos digitais mais avançados, colmatando uma lacuna evidente nas taxonomias existentes.

4. Discussão

Tal como analisado na Secção 2.2, existem várias propostas de nomenclatura na área da geminação digital que não consideram a fase de calibração e sincronização dos dados adquiridos. Esta é uma lacuna na literatura, pois existem casos de estudo que não se enquadram na classificação "padrão" de Kritzinger et al. [19]. Alguns casos eram mais do que simples modelos, mas não alcançavam o patamar da sombra digital, encontrando-se num estágio intermédio que mais tarde viria a denominar-se por "*Calibration Twin*". Inicialmente, o conceito era denominado por "*Digital Prototype*", traduzido para "Protótipo de um *Digital Twin*" [30], mas esta terminologia viria a ser descartada pelo facto de normalmente se associar a palavra protótipo ao ativo real. A designação "*Simulation Twin*" foi igualmente descartada por já estar em uso com um significado distinto [31]. Para a KPMG, o "*Simulation Twin*" corresponde a um nível de maturidade orientado para a simulação de cenários e a avaliação do impacto de diferentes decisões de projeto, construção e operação, com vista à otimização de custo, desempenho e risco. Difere assim do "*Calibration Twin*", cuja função principal não é a simulação exploratória de cenários, mas sim o ajuste e a validação de um modelo digital com base em dados medidos no ativo físico. À data, a única referência a um "*Calibration Twin*" nos motores de pesquisa *online* é uma revisão da literatura desta equipa de investigação, que identificou cinco casos aplicados à área da construção modular digital [27].
O reconhecimento formal deste estágio intermédio permite clarificar o estado real de desenvolvimento e maturidade da geminação digital, procurando evitar classificações imprecisas e, principalmente, facilitando a comunicação. Esta proposta contrasta com a prEN 18162:2025, que enquadra todas as instâncias que contêm dispositivos de aquisição de dados instalados num ativo físico numa única categoria: *Asset Digital Twin Instance* (ADTwI) [12]. Deste modo, o "gémeo de calibração" seria agrupado num ADTwI em conjunto com uma

sombra digital e um gémeo digital, deixando de haver distinção entre conceitos, e privilegiando uma visão unificadora do ecossistema digital. Esta abordagem normativa apresenta vantagens ao clarificar o enquadramento conceptual da geminação digital, promovendo um vocabulário comum e simplificando a interoperabilidade ao nível do ecossistema. A agregação de instâncias com capacidade de sensorização sob o conceito de ADTwI fornece um ponto de entrada coerente no contexto da geminação digital. Embora coerente, esta lógica agregadora introduz desafios adicionais, sobretudo em contextos em que a distinção entre diferentes graus de maturidade é essencial para comunicar o nível de desenvolvimento de um sistema digital. Com efeito, a ausência de subcategorias no ADTwI pode perpetuar discrepâncias entre implementações que, embora classificadas da mesma forma, apresentam níveis de desenvolvimento substancialmente distintos, reforçando problemas decorrentes da falta de normalização [1], [5], [10]. Face a isto, poderá ser pertinente considerar a possibilidade de criar graus de maturidade ADTwI, à semelhança da proposta de Asare et al. [18], que adaptam o conceito de LOD aos gémeos digitais.
Apesar de pensado para a realidade do setor AECO, o conceito enquadra-se noutras áreas que apostam fortemente nos gémeos digitais, como as engenharias mecânica [24], aeronáutica e aeroespacial, a manufatura avançada, ou a medicina [1]. Assim, a formalização do "gémeo de calibração" como um estado digital distinto pode ser aplicada a outros setores, promovendo um diálogo interdisciplinar mais consistente sobre a temática da geminação digital.

5. Conclusão

O "*Calibration Twin*" representa um estado digital amplamente implementado na prática, mas até agora ausente das taxonomias de geminação digital. A sua formalização permite descrever com maior precisão a fase em que dados de monitorização, obtidos através de sistemas de aquisição instalados no ativo real, são utilizados para ajustar modelos digitais, posicionando-o entre o "modelo digital" e a "sombra digital". Ao reconhecer esta etapa como uma configuração distinta, reforça-se a consistência terminológica e colmata-se uma lacuna persistente na representação dos diferentes graus de maturidade dos gémeos digitais. Embora este trabalho se centre no setor AECO, o conceito apresenta potencial de generalização. A calibração entre dados de monitorização e modelos digitais é uma prática transversal aos setores que recorrem a gémeos digitais, pelo que a formalização deste estado intermédio poderá apoiar uma leitura mais coerente das práticas existentes e fomentar um diálogo interdisciplinar mais estruturado.
Como trabalhos futuros, considera-se pertinente auscultar a perceção do setor AECO relativamente ao "gémeo de calibração", avaliando a sua utilidade, clareza e aplicabilidade. Esta reflexão poderá ser aprofundada através de inquéritos para validar, refinar ou expandir o conceito no contexto da geminação digital.

Agradecimentos

Este trabalho foi financiado por: Financiamento - UID/04708 da Unidade de Investigação CONSTRUCT - Instituto de I&D em Estruturas e Construções - financiada pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia, I.P./ MCTES, através de fundos nacionais.

Referências

[1] B. R. Barricelli, E. Casiraghi, and D. Fogli, "A Survey on Digital Twin: Definitions, Characteristics, Applications, and Design Implications," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 167653–167671, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2953499.

[2] M. Nour El-Din *et al*., "Digital Twins for Construction Assets Using BIM Standard Specifications," *Buildings*, vol. 12, no. 12, p. 2155, 2022, doi: 10.3390/buildings12122155.

[3] A. Fuller *et al*., "Digital Twin: Enabling Technologies, Challenges and Open Research," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 108952–108971, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2998358.

[4] I. Osadcha, A. Jurelionis, and P. Fokaides, "Geometric parameter updating in digital twin of built assets: A systematic literature review," *J. Build. Eng.*, vol. 73, p. 106704, 2023, doi: 10.1016/j.jobe.2023.106704.

[5] Y. Liu *et al*., "A review of digital twin capabilities, technologies, and applications based on the maturity model," *Adv. Eng. Informatics*, vol. 62, p. 102592, 2024, doi: 10.1016/j.aei.2024.102592.

[6] I. Esmaeili and D. Simeone, "A General Contractor's Perspective on Construction Digital Twin: Implementation, Impacts and Challenges," *Buildings*, vol. 13, no. 4, p. 978, 2023, doi: 10.3390/buildings13040978.

[7] S. M. E. Sepasgozar, "Differentiating Digital Twin from Digital Shadow: Elucidating a Paradigm Shift to Expedite a Smart, Sustainable Built Environment," *Buildings*, vol. 11, no. 4, p. 151, 2021, doi: 10.3390/buildings11040151.

[8] M. Shahzad *et al*., "Digital Twins in Built Environments: An Investigation of the Characteristics, Applications, and Challenges," *Buildings*, vol. 12, no. 2, p. 120 (19 pp.), 2022, doi: 10.3390/buildings12020120.

[9] T. A. Adebiyi, N. A. Ajenifuja, and R. Zhang, "Digital Twins and Civil Engineering Phases: Reorienting Adoption Strategies," *J. Comput. Inf. Sci. Eng.*, vol. 24, no. 10, 2024, doi: 10.1115/1.4066181.

[10] Y. Mousavi *et al*., "Digital Twin Technology in Built Environment: A Review of Applications, Capabilities and Challenges," *Smart Cities*, vol. 7, no. 5, pp. 2594–2615, 2024, doi: 10.3390/smartcities7050101.

[11] J. Poças Martins, "Do BIM aos Gémeos Digitais na Gestão de Ativos," *Construção Mag. - Rev. Técnico-Científica Eng. Civ.*, no. 130, novembro/dezembro, p. 33, 2025.

[12] CEN - European Committee for Standardization, "DRAFT prEN 18162 Building Information Modelling (BIM) - Digital twins applied to the built environment - Concept and definitions.," Brussels, Belgium, 2025.

[13] D.-G. J. Opoku *et al*., "Digital twin application in the construction industry: A literature review," *J. Build. Eng.*, vol. 40, p. 102726, 2021, doi: 10.1016/j.jobe.2021.102726.

[14] J. Brozovsky, N. Labonnote, and O. Vigren, "Digital technologies in architecture, engineering, and construction," *Autom. Constr.*, vol. 158, p. 105212, 2024, doi: 10.1016/j.autcon.2023.105212.

[15] International Organization for Standardization, "ISO 19650-1:2018, Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) - Information management using building information modelling - Part 1: Concepts and principles." Geneva, Switzerland, 2018.

[16] M. Deng, C. C. Menassa, and V. R. Kamat, "From BIM to digital twins: A systematic review of the evolution of intelligent building representations in the AEC-FM industry," *J.*

Inf. Technol. Constr., vol. 26, pp. 58–83, 2021, doi: 10.36680/J.ITCON.2021.005.
[17] D. Calvetti *et al*., "Incremental digital twin framework: A design science research approach for practical deployment," *Autom. Constr.*, vol. 170, 2025, doi: 10.1016/j.autcon.2024.105954.
[18] K. A. B. Asare, R. Liu, and C. J. Anumba, "Dimensionality of BIM LODs in the Digital Twin Continuum," *J. Comput. Civ. Eng.*, vol. 40, no. 1, 2026, doi: 10.1061/JCCEE5.CPENG-6479.
[19] W. Kritzinger *et al*., "Digital Twin in manufacturing: A categorical literature review and classification," *IFAC-PapersOnLine*, vol. 51, no. 11, pp. 1016–1022, 2018, doi: 10.1016/j.ifacol.2018.08.474.
[20] A. M. Madni, C. C. Madni, and S. D. Lucero, "Leveraging digital twin technology in model-based systems engineering," *Systems*, vol. 7, no. 1, pp. 1–13, 2019, doi: 10.3390/systems7010007.
[21] P. Mêda *et al*., "Incremental Digital Twin Conceptualisations Targeting Data-Driven Circular Construction," *Buildings*, vol. 11, no. 11, p. 554, 2021, doi: 10.3390/buildings11110554.
[22] E. M. Elfarri, A. Rasheed, and O. San, "Artificial Intelligence-Driven Digital Twin of a Modern House Demonstrated in Virtual Reality," *IEEE Access*, vol. 11, pp. 35035–35058, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3265191.
[23] G. Sugiyama, I. Bourgeois, and H. Rodrigues, "A holistic methodology for the assessment of Heritage Digital Twin applied to Portuguese case studies," *Digit. Appl. Archaeol. Cult. Herit.*, vol. 36, p. e00390, 2025, doi: 10.1016/j.daach.2024.e00390.
[24] T. G. Ritto and F. A. Rochinha, "Digital twin, physics-based model, and machine learning applied to damage detection in structures," *Mech. Syst. Signal Process.*, vol. 155, p. 107614, 2021, doi: 10.1016/j.ymssp.2021.107614.
[25] M. F. Funari *et al*., "A Parametric Scan-to-FEM Framework for the Digital Twin Generation of Historic Masonry Structures," *Sustainability*, vol. 13, no. 19, p. 11088, 2021, doi: 10.3390/su131911088.
[26] D. D. Eneyew, M. A. M. Capretz, and G. T. Bitsuamlak, "Continuous model calibration framework for smart-building digital twin: A generative model-based approach," *Appl. Energy*, vol. 375, 2024, doi: 10.1016/j.apenergy.2024.124080.
[27] D. F. R. Parracho *et al.*, "Modular Construction in the Digital Age: A Systematic Review on Smart and Sustainable Innovations," *Buildings*, vol. 15, no. 5, 2025, doi: 10.3390/buildings15050765.
[28] C. Vassiliades *et al*., "Assessment of an innovative plug and play PV/T system integrated in a prefabricated house unit: Active and passive behaviour and life cycle cost analysis," *Renew. Energy*, vol. 186, pp. 845–863, 2022, doi: 10.1016/j.renene.2021.12.140.
[29] V. G. González, G. R. Ruiz, and C. F. Bandera, "Empirical and comparative validation for a building energy model calibration methodology," *Sensors*, vol. 20, no. 17, pp. 1–29, 2020, doi: 10.3390/s20175003.
[30] D. F. R. Parracho *et al*., "A fotogrametria aérea como base da criação de modelos BIM e digital twins: revisão da literatura," in *5º Congresso Português de Building Information Modelling Volume 1*, Braga: UMinho Editora, 2024. doi: 10.21814/uminho.ed.142.38.
[31] KPMG, "Insight report: Innovation & R&D in construction," Ontario, Canada, 2022. [Online]. Available: https://www.cca-acc.com/wp-content/uploads/2022/06/Insight-report-June-2022.pdf

12345

DIGITAL TWIN PARA O CONTROLO DAS CONDIÇÕES AMBIENTAIS DE ESPAÇOS MUSEOLÓGICOS

David Pereira, Romeu Vicente, Odete Paiva, Sónia Isidro, Ricardo Almeida

ptBIM

DIGITAL TWIN PARA O CONTROLO DAS CONDIÇÕES AMBIENTAIS DE ESPAÇOS MUSEOLÓGICOS

David Pereira[(1)], Romeu Vicente [(1)], Odete Paiva [(2)], Sónia Isidro [(2)], Ricardo Almeida [(3), (4)]

(1) CERIS, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Aveiro, Campus Universitário de Santiago, Aveiro, 0009-0003-1587-8297, 0000-0002-5456-16421

(2) Museu Nacional Grão Vasco, Portugal, 0000-0003-1440-3030, 0009-0006-0756-8442

(3) Departamento de Engenharia Civil do Instituto Politécnico de Viseu, Viseu, 0000-0002-9846-6081 2

(4) CONSTRUCT-LFC, Universidade do Porto, Faculdade de Engenharia, Portugal

Resumo

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um Digital Twin do edifício do Museu Nacional Grão Vasco, em Viseu, focado na monitorização das condições ambientais interiores dos espaços/compartimentos que afetam o estado de conservação de um acervo de pintura quinhentista, com destaque para as obras de Mestre Vasco Fernandes. O objetivo do modelo é disponibilizar informação para apoiar decisões de conservação preventiva, reduzindo o risco de danos do acervo devido a solicitações higrotérmicas excessivas.

A metodologia proposta integra uma rede de sensores IoT de temperatura e humidade relativa, cujos dados são recolhidos e armazenados numa base de dados, sendo de seguida tratados e agregados em Node-RED para posterior envio para uma plataforma Digital Twin, onde é construído o modelo de visualização BIM-based. No Digital Twin é possível consultar e tratar, em tempo real, os valores das condições ambientais interiores dos compartimentos em estudo, representar mapas espaciais e explorar séries temporais de longo e curto prazo.

Os dados recolhidos e armazenados alimentam um sistema de alertas, baseado em limites de temperatura e humidade relativa definidos a partir dos intervalos recomendados para diferentes materiais e tipologias de objetos museológicos. A abordagem permite relacionar limites de exposição admissíveis com o comportamento real do edifício, identificando espaços/compartimentos e períodos críticos.

O caso de estudo demonstra o potencial da integração BIM + IoT + Digital Twin em contexto de manutenção do património edificado, contribuindo para estratégias de gestão e conservação mais informadas, e ilustrando um caminho replicável para outros museus e edifícios com interesse e relevância patrimonial.

1. Introdução

A integração de novas tecnologias, como o DT (Digital Twin) e a Internet of Things (IoT), é obviamente uma excelente oportunidade para enfrentar problemas existentes no setor dos edifícios históricos, incluindo regulamentação inadequada, baixo desempenho, comunicação não otimizada, fragmentação do fluxo de informação e falta de capacidade de decisão com informação de suporte e de confiança por parte das entidades gestoras dos edifícios [1], [2].
A tecnologia DT permite melhorar o desempenho dos edifícios em tempo real, através da criação de uma réplica digital do edifício, garantindo que a entidade responsável pela sua gestão se mantém informada e atualizada. Este processo assenta na integração de um modelo BIM com sensores IoT, possibilitando, por exemplo, a avaliação das condições higrotérmicas no interior dos espaços. Adicionalmente, pode ainda facilitar a análise dos impactos de diferentes medidas de mitigação e, dessa forma, apoiar na gestão inteligente dos ativos [3].
Este estudo centra-se na caracterização e monitorização higrotérmica dos espaços interiores de um museu. Para esse efeito, foi desenvolvido um DT detalhado do edifício, que permite acompanhar e monitorizar a temperatura e a humidade relativa em diferentes compartimentos. O caso de estudo é o Museu Nacional Grão Vasco, em Viseu, dando-se especial enfoque aos espaços que acolhem obras classificadas como tesouros nacionais. Neste documento apresenta-se uma breve revisão do estado da arte, a descrição da metodologia utilizada e a sua implementação no caso de estudo, os resultados obtidos e, por fim, as conclusões da investigação.

2. Trabalhos relacionados

No contexto do património cultural, o conceito de DT teve origem na representação digital de artefactos através de modelos digitais 3D, como sinónimo de uma réplica digital do artefacto ou estrutura histórica. As primeiras representações têm origem no século XX no ramo da arqueologia, assentando essencialmente em reconstruções visuais do passado. Esta abordagem evoluiu rapidamente para documentar a forma dos artefactos, monumentos e locais históricos.
Ao longo do tempo, foi-se tornando evidente o potencial destas técnicas para a preservação e documentação de informação, que pode ser armazenada e vinculada ao modelo 3D. Dessa forma, começou-se a anexar informações aos modelos 3D, nomeadamente relativas aos materiais usados em diferentes partes ou ao histórico de intervenções de conservação. Nestes casos, toda a informação relacionada ao património em causa é gerida a partir de um processo holístico já existente que é a metodologia BIM (Building Information Modelling).
O DT pode ser encarado como uma evolução do modelo BIM, que consiste na representação virtual de um sistema físico, que é atualizado por troca de informações entre o sistema físico e o virtual, combinado em cinco dimensões: entidades físicas, modelos virtuais, serviços, dados e conexões [4].
Na literatura, encontram-se várias tentativas de definir o nível de maturidade de um DT. Sugiyama et al. [5], propõem um modelo de maturidade para o conceito Heritage Digital Twin (HDT) sustentado em quatro atributos, respetivamente: fidelidade, sincronização, inteligência e autonomia. Xin et al. [6], sugerem a criação do conceito Cultural Heritage Digital Twin (CHDT), que consiste na integração da tecnologia de DT com a proteção, salvaguarda e utilização do património cultural. Em suma, é construído um ambiente virtual através do

mapeamento digital de todos os elementos e entidades patrimoniais, com uma ligação bidirecional e em tempo real entre o património físico e o seu gémeo digital, possibilitando e potenciando a monitorização, simulação, previsão e reutilização inovadora.
Na gestão de edifícios com funções museológicas, o DT tem-se afirmado como uma ferramenta diversificada e versátil. No domínio da conservação e restauro, destaca-se a criação de um modelo DT da obra *Mona Lisa*, com o objetivo de monitorizar a propagação de fissuras, bem como controlar e simular possíveis riscos associados às suas propriedades higromecânicas [7]. No que diz respeito ao estudo do desempenho estrutural de edifícios, a literatura apresenta exemplos de modelos HBIM integrados com sistemas de monitorização estrutural, permitindo a monitorização através de dados recolhidos por sensores e a alimentação de modelos numéricos para suporte à decisão, sendo disso exemplo o trabalho de Machete et al. Existem também plataformas que, embora tendo sido desenvolvidas especificamente para curadores, permitem ao público em geral ter uma experiência mais imersiva sobre as obras do museu [9]. Observam-se também grandes avanços no uso de DT para o controlo do ambiente interno de espaços históricos. Por exemplo, o Teatro da cidade de Norrköping cria um DT para monitorizar em tempo real vários parâmetros do ambiente interior, especificamente flutuações de humidade relativa [10].

3. Metodologia

A metodologia desenvolvida neste trabalho tem como objetivo a criação de um DT do Museu Nacional Grão Vasco, em Viseu, focado na monitorização das condições ambientais interiores dos espaços de exposição. O acompanhamento destes parâmetros é fundamental para garantir o estado de conservação do acervo de pintura quinhentista existente no edifício. A aquisição de dados em tempo real é fundamental para detetar eventuais condições desfavoráveis e, a partir dessa informação, criar alertas dirigidos aos responsáveis de operação e controlo do edifício, possibilitando uma intervenção imediata que garanta a preservação e a integridade das peças do museu.
A metodologia adotada inclui as seguintes etapas: (i) levantamento arquitetónico dos compartimentos a analisar e respetiva modelação; (ii) seleção e instalação de sensores para monitorização do ambiente interior e exterior; (iii) tratamento e armazenamento dos dados recolhidos numa base de dados; (iv) integração dos dados dos sensores no modelo 3D do museu, com visualização em tempo real; e (v) implementação de alertas de risco com base em limites admissíveis de temperatura e humidade relativa.
A campanha de monitorização no Museu Nacional Grão Vasco centra-se na caracterização higrotérmica dos espaços interiores que acolhem tesouros nacionais, incluindo pinturas e esculturas, com enfoque na preservação da coleção. Para esse efeito, é necessária uma monitorização do edifício, permitindo acompanhar a temperatura e a humidade relativa nos diferentes compartimentos onde se encontram as obras de arte e analisar de que forma estes parâmetros, entre outros, influenciam, ao longo do tempo, as estratégias e ações de conservação.
A etapa de seleção e instalação de sensores inclui a caracterização higrotérmica do ambiente interior do edifício, ou seja, a medição da temperatura e da humidade relativa, e o registo das condições climáticas exteriores, neste caso, através da instalação de uma estação meteorológica que regista os seguintes parâmetros: humidade relativa, radiação solar, temperatura, velocidade e direção do vento e precipitação.

A Figura 1 sintetiza as diferentes etapas da metodologia adotada na investigação.

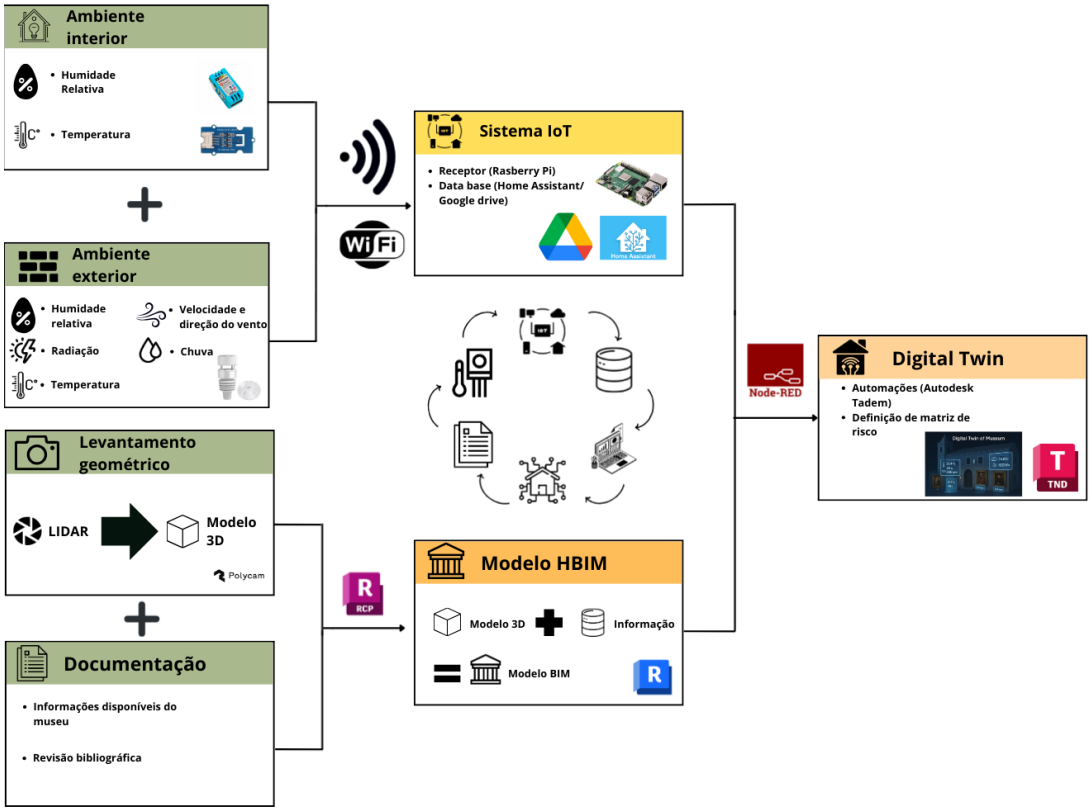


Figura 1: Esquema da metodologia

4. Caso de estudo - Museu Nacional Grão Vasco

A metodologia anteriormente descrita foi aplicada num museu, designadamente o Museu Nacional Grão Vasco, em Viseu. O edifício do museu corresponde ao Paço dos Três Escalões, mandado construir no ano de 1593, tendo sido alvo de várias obras de manutenção e reparação ao longo dos anos.

A primeira etapa da investigação consistiu na criação do modelo HBIM do edifício, isto é, uma representação digital do edifício com base em documentação histórica, levantamentos arquitetónicos, identificação de anomalias, entre outros elementos. O principal propósito deste modelo é documentar, analisar e apoiar a gestão de conservação do edifício.

No processo de criação do modelo HBIM foi efetuada, numa fase inicial, a recolha do máximo de informação relevante para a investigação, incluindo plantas e desenhos do edifício, registo de intervenções de restauro concluídas, caracterização dos materiais de construção, história do edifício e registos históricos de temperatura e humidade relativa já existentes no museu.

A segunda fase centrou-se na aquisição de dados para a representação digital do edifício, recorrendo ao sensor LiDAR integrado num iPad Pro. O LiDAR (Light Detection and Ranging) é uma tecnologia de captura da realidade que mede distâncias através de impulsos de luz (laser) e do registo de tempo que essa luz demora a regressar. A partir destas medições é possível gerar uma nuvem de pontos tridimensional. Após o levantamento, a nuvem de pontos foi tratada no

software *Autodesk ReCap*, removendo-se o ruído captado até se obter uma nuvem de pontos adequada à modelação, com dimensões e geometria explícitas.
Por fim, reunidos os elementos necessários, iniciou-se a criação do modelo HBIM no software *Autodesk Revit*. Para dar início à modelação, foram importadas para o ambiente do Autodesk Revit as plantas disponíveis e as nuvens de pontos processadas no *Autodesk ReCap*, garantindo-se o correto alinhamento e georreferenciação dos dados. A partir desta base, procedeu-se à modelação tridimensional do edifício (paredes, pavimentos, coberturas, vãos, escadas e elementos arquitetónicos relevantes), respeitando a geometria captada e as características construtivas identificadas. A Figura 2 mostra o modelo de nuvem de pontos do interior do edifício e a modelação em *Autodesk Revit*.

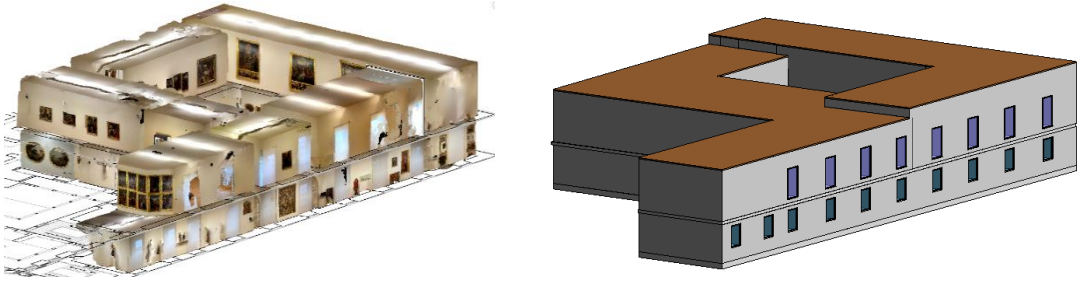


Figura 2: Importação das nuvens de pontos limpas (*Autodesk Recap*) para o *Autodesk Revit* e respetiva modelação.

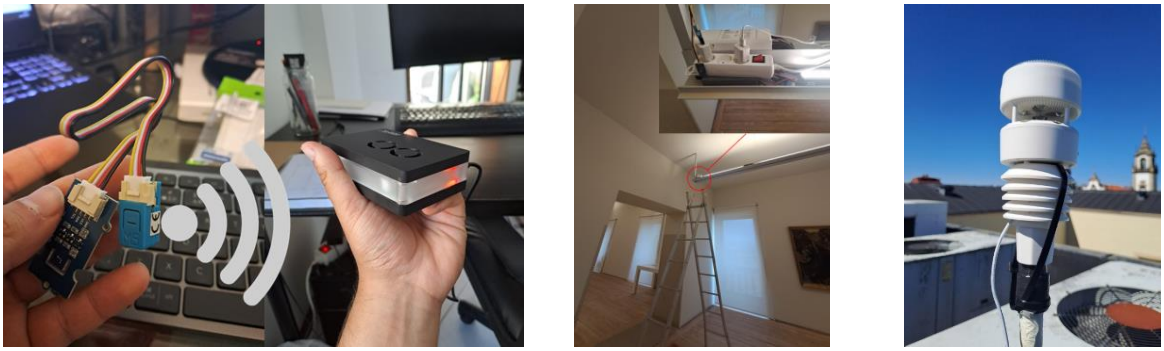
Em paralelo, foi efetuada a organização e estruturação do modelo por níveis, fases e categorias, permitindo uma gestão consistente da informação ao longo do tempo e facilitando a posterior utilização do DT.

4.1 Setup de sensores e respetivas configurações

Com o modelo geométrico finalizado iniciou-se a instalação e configuração do sistema de sensores para monitorizar os compartimentos interiores. A temperatura e a humidade relativa são medidas com sensores SCD35 com precisão ±0,1 ºC e ±1,5% e resolução 0,01 ºC e 0,01% para temperatura e humidade relativa, respetivamente. Os sensores foram colocados criteriosamente junto às luminárias, de forma a ficarem discretos e sem influência direta dos visitantes e de fontes pontuais de calor (ver Figura 3b). No total, foram instalados 16 sensores distribuídos por 16 compartimentos. As condições climáticas exteriores são monitorizadas através de uma estação meteorológica GW2001 WittBoy instalada na cobertura do edifício (Figura 3c).
Tanto no exterior como no interior, o sistema de monitorização baseia-se na leitura de parâmetros ambientais através de sensores de elevada precisão. Estes sensores estão ligados a um microcontrolador através de interfaces de comunicação I^2C, sendo que o microcontrolador recolhe periodicamente as leituras (ver Figura 3ª).
A campanha de monitorização decorreu entre 1 de janeiro de 2026 e 1 de fevereiro de 2027, correspondendo a um período total de 13 meses. Durante este intervalo, os dados ambientais interiores e exteriores foram adquiridos com uma resolução temporal de 5 minutos de forma contínua. A duração da campanha foi definida de modo a abranger um ciclo anual completo, permitindo captar a variabilidade sazonal das condições higrotérmicas e realizar uma análise representativa do comportamento ambiental ao longo de todo o ano. Ainda assim, o objetivo do

sistema implementado não se limita a uma campanha temporalmente fechada, pretendendo-se a sua manutenção em funcionamento contínuo a longo prazo, de forma a assegurar a monitorização permanente do edifício e o acompanhamento da evolução das condições ambientais.

Todo o processamento e armazenamento são geridos por um computador Raspberry Pi (RPi), que recebe os dados através de uma rede Wi-Fi instalada no local. No RPi, é executado um ambiente virtualizado através da plataforma Home Assistant (HA), uma plataforma *open-source* que armazena localmente a informação adquirida. Esta plataforma permite a configuração dos microcontroladores ligados aos sensores, incluindo a definição das taxas de aquisição, calibração, conversão de unidades e filtragem de valores anómalos (*outliers*). O HA permite ainda configurar o envio automático das leituras dos sensores para a rede local via Wi-Fi. Os dados podem ser armazenados localmente num disco SSD ligado ao Raspberry Pi ou através de cópias de segurança na nuvem, como, por exemplo, o Google Drive.



a) b) c)

Figura 3: Sistema de monitorização e instrumentação: a) conjunto sensor-microcontrolador e Raspberry Pi; (b) Instalação dos sensores de temperatura e humidade relativa; (c) estação meteorológica a registar condições exteriores

4.2 Integração com o modelo 3D

Para a integração e visualização operacional dos dados do microclima no modelo 3D, selecionou-se a plataforma *Autodesk Tandem*, que foi ligado ao HA através do Node-RED. As variáveis ambientais monitorizadas (temperatura, humidade relativa) são adquiridas no HA separadamente por compartimento (e.g., C1.2, C2.1, C2.2, C2.3, C2.4...), bem como os parâmetros recolhidos na estação meteorológica exterior. No Node-RED, as entidades do HA referentes a temperatura e humidade relativa alimentam fluxos dedicados por compartimento. Em cada fluxo, o *entity_id* é mapeado para chaves canónicas (por exemplo, C2_1_Temp e C2_1_RH) e as leituras de temperatura e humidade relativa são combinadas através de um nó *merge-join*. Por fim, é construído um *payload* com carimbo temporal (ISO 8601) e os dados são enviados ao *Autodesk Tandem* através de pedidos HTTP (POST), com periodicidade definida. A Figura 4 mostra o *pipeline* de comunicação em Node-RED para automatização do envio dos dados adquiridos para o ambiente 3D no *Autodesk Tandem*.

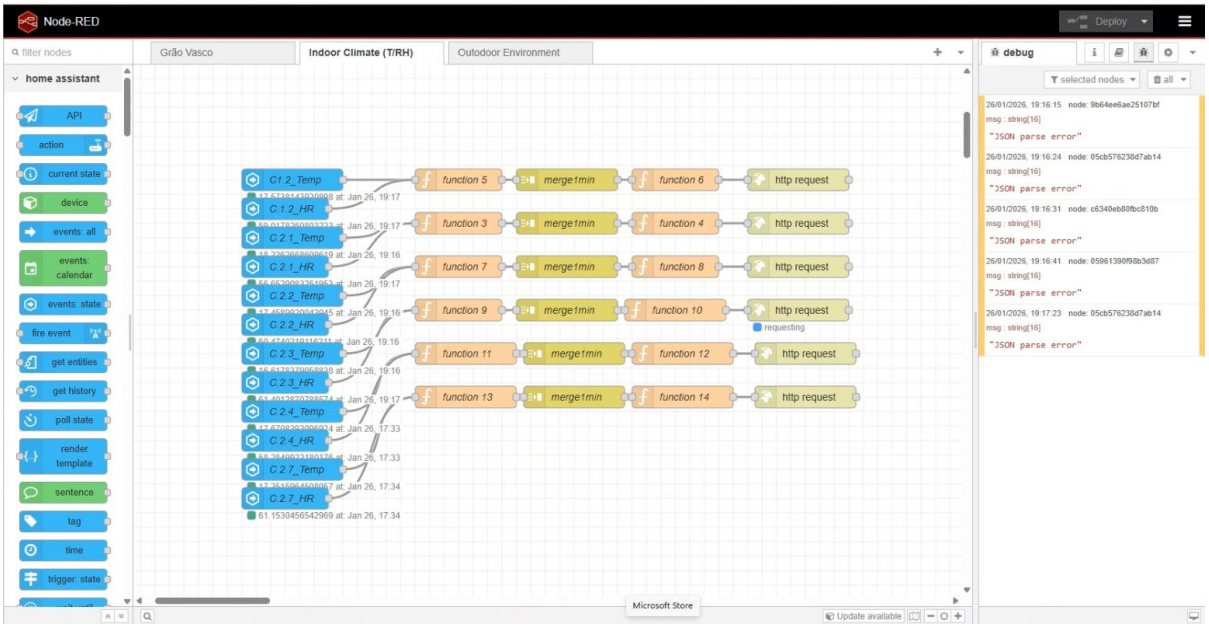


Figura 4: *Pipeline* de comunicação em Node-RED.

No Tandem, foi preparado um *Facility Template* que inclui classes personalizadas para os compartimentos (*Rooms*) e para a estação meteorológica (*Room* Exterior), consolidando os parâmetros de interesse (temperatura e humidade relativa interior por compartimento, e parâmetros climáticos exteriores). Para cada parâmetro dinâmico, foi configurado um *data stream* e a respetiva ligação, associada via JSONPath, à chave correspondente produzida pelo Node-RED. Esta ligação disponibiliza os dados dos sensores em tempo real nas tabelas e gráficos do Tandem, permitindo a visualização espacial por compartimento (incluindo *heatmaps* quando aplicável). Esta configuração também permite a centralização de informação complementar associada a cada espaço, como, por exemplo, a identificação do compartimento, função, localização, observações relevantes, registo de anomalias/danos, histórico de intervenções e áreas/compartimentos de interesse para a monitorização ambiental, e à estação meteorológica, como, por exemplo, o tipo de equipamento, posicionamento e metadados de instalação.

A Figura 5 mostra a interface do modelo 3D no *Autodesk Tandem* para o piso 2, incluindo um mapa térmico (*heat map*) resultante da leitura de temperatura em tempo real, o painel de propriedades do compartimento e a classificação por intervalos/níveis de risco térmico, em função de critérios estabelecidos pelo utilizador.



Figura 5: Interface do modelo 3D para o piso 2: mapa térmico (*heat map*) de temperatura em tempo real, painel de propriedades do compartimento e classificação por intervalos/níveis de risco térmico.

Relativamente ao sistema de alertas disponível no *Autodesk Tandem*, foram definidos limites de aviso (*thresholds*) para a temperatura e humidade relativa do ar por compartimento, com base em intervalos recomendados para diferentes classes de materiais e tipologias de objetos museológicos. Estes intervalos foram retirados da bibliografia específica [11], [12].
Para cada compartimento foi atribuído um intervalo específico em função do tipo de obras predominantes no local e da sua sensibilidade a variações higrotérmicas. No caso específico do Museu Nacional Grão Vasco, para além das pinturas quinhentistas (incluindo obras atribuídas a Vasco Fernandes, frequentemente suportadas em madeira e com camadas pictóricas/policromia), existem também coleções com materiais diversos, como esculturas, coleções de cerâmica, peças em marfim e mobiliário, pelo que a definição dos *thresholds* foi ajustada por sala de modo a refletir o perfil material dominante. Assim, nas salas com predominância de madeira e madeira pintada/policromada estabeleceu-se como limites 15–25 °C e 35–65 %, enquanto nos compartimentos com maior presença de cerâmica os intervalos de referência são 16–30 °C e 0–70%. Para áreas com marfim e ossos, consideraram-se os intervalos de 0-25°C e 20-65%. Estes *thresholds* suportam alertas automáticos no Tandem, ou seja, sempre que os valores medidos no local excedem os limites definidos para cada compartimento é apresentado um alerta através de um símbolo colorido.

5. Conclusões

A presente investigação apresenta uma metodologia assente na utilização da tecnologia DT para o apoio na gestão de coleções museológicas, através da recolha e tratamento de dados necessários a uma caracterização adequada do ambiente interior, com o objetivo de suportar uma estratégia de conservação preventiva. No estágio atual, a solução desenvolvida aproxima-

se sobretudo de um digital shadow, com visualização dinâmica dos dados, podendo ser entendida como um primeiro passo para a concretização de um Digital Twin mais robusto e funcional.

Os principais contributos deste trabalho consistem na criação de um modelo digital, na demonstração do *pipeline* da integração contínua dos dados do meio físico para o modelo digital e na implementação de um sistema de avisos e alertas de risco em tempo real. A metodologia desenvolvida permite uma receção contínua em tempo real de dados do interior, nomeadamente, temperatura e humidade relativa, bem como dados climáticos exteriores, potencialmente relevantes para uma análise de risco do acervo do museu.

A aplicação da metodologia neste caso de estudo demonstrou a viabilidade técnica do DT como suporte à monitorização e tomada de decisão. Esta abordagem traz benefícios relevantes ao Museu Nacional Grão Vasco, eventualmente generalizável a toda a comunidade de curadores, uma vez que a existência de uma réplica digital do edifício permite priorizar salas mais críticas, reações de atuações mais rápidas e eficazes, registos históricos para justificar intervenções de conservação e medidas de intervenção e, acima de tudo, preservar um legado histórico para as gerações vindouras. Para além disso, a implementação desta metodologia num contexto real demonstra o seu potencial de replicabilidade e adaptação a outras instituições patrimoniais com necessidades semelhantes de monitorização, conservação preventiva e apoio à decisão.

Como trabalho futuro, prevê-se o prolongamento do período de operação do sistema, de modo a permitir uma análise quantitativa mais robusta dos seus impactos na conservação das obras, nomeadamente ao nível da redução documentada de danos. Numa perspetiva de evolução metodológica, espera-se igualmente que a solução desenvolvida possa progredir de uma lógica atual de monitorização integrada para um Digital Twin em sentido mais pleno, assente numa ligação operacional contínua entre o sistema físico e a sua representação digital, com capacidade de contextualização, análise, simulação, previsão e apoio à decisão ao longo do ciclo de vida do ativo.

Agradecimentos

Este trabalho foi apoiado pela FCT — Fundação para a Ciência e a Tecnologia, I.P., no âmbito da bolsa de doutoramento com a referência e identificador DOI: https://doi.org/10.54499/PRT/BD/155037/2023. Os autores agradecem ao Museu Nacional Grão Vasco (Viseu, Portugal) o apoio institucional e o acesso às coleções, e ao CERIS — Civil Engineering Research and Innovation for Sustainability (RUnit CERIS Aveiro), no âmbito do projeto UID/6438/2025. Este trabalho é ainda cofinanciado pelo COMPETE 2030, Portugal 2030 e pela União Europeia, no âmbito do projeto RiskMap — "Ferramenta de mapeamento do risco de degradação em edifícios através de inteligência artificial" — projeto n.º 14828, código de operação COMPETE2030-FEDER-00831700.

Referências

[1] D. Lee, S. H. Lee, N. Masoud, M. S. Krishnan, and V. C. Li, 'Integrated digital twin and blockchain framework to support accountable information sharing in construction projects', *Autom. Constr.*, vol. 127, Jul. 2021, doi: 10.1016/j.autcon.2021.103688.

[2] B. Teisserenc and S. Sepasgozar, 'Adoption of blockchain technology through digital twins in the construction industry 4.0: A PESTELS approach', *Buildings*, vol. 11, no. 12, Dec. 2021, doi: 10.3390/buildings11120670.

[3] M. Deng, C. C. Menassa, and V. R. Kamat, 'From BIM to digital twins: A systematic review of the evolution of intelligent building representations in the AEC-FM industry', *Journal of Information Technology in Construction*, vol. 26, pp. 58–83, 2021, doi: 10.36680/J.ITCON.2021.005.

[4] F. Niccolucci and A. Felicetti, 'Digital Twin Sensors in Cultural Heritage Ontology Applications', *Sensors*, vol. 24, no. 12, Jun. 2024, doi: 10.3390/s24123978.

[5] G. Sugiyama, I. Bourgeois, and H. Rodrigues, 'A holistic methodology for the assessment of Heritage Digital Twin applied to Portuguese case studies', *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, vol. 36, Mar. 2025, doi: 10.1016/j.daach.2024.e00390.

[6] L. Xin, G. Hongyu, S. E. Kyeong, W. Qitao, Y. Guojun, and D. Bangkun, 'Towards Cultural Heritage Digital Twin: Concept, Characteristics, Framework and Applications', in *2023 9th International Conference on Virtual Reality, ICVR 2023*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2023, pp. 549–557. doi: 10.1109/ICVR57957.2023.10169702.

[7] R. Lorenzo *et al.*, 'Learning from objects: The use of advanced numerical methods to exploit a complete set of information from experimental data, for the Mona Lisa's Digital-Twin', in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, IOP Publishing Ltd, Nov. 2020. doi: 10.1088/1757-899X/949/1/012089.

[8] R. Machete, M. Neves, M. Ponte, A. P. Falcão, and R. Bento, 'A BIM-Based Model for Structural Health Monitoring of the Central Body of the Monserrate Palace: A First Approach', *Buildings*, vol. 13, no. 6, Jun. 2023, doi: 10.3390/buildings13061532.

[9] I. Yeom and W. Woo, 'Digital twin as a mixed reality platform for art exhibition curation', in *Proceedings - 2021 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces Abstracts and Workshops, VRW 2021*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., Mar. 2021, pp. 424–425. doi: 10.1109/VRW52623.2021.00094.

[10] Z. Ni, Y. Liu, M. Karlsson, and S. Gong, 'Enabling Preventive Conservation of Historic Buildings Through Cloud-Based Digital Twins: A Case Study in the City Theatre, Norrköping', *IEEE Access*, vol. 10, pp. 90924–90939, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3202181.

[11] F. d'Ambrosio and V. d'Agostino, 'Microclimate and cultural heritage', in *uroacademy on Ventilation and Indoor Climate. Course 1 – Indoor Air and Thermal Confort*, Marie Curie Actions, 2006, pp. 90–118.

[12] C. S. F. M. Ferreira, 'Inércia higroscópica em museus instalados em edifícios antigos: utilização de técnicas passivas no controlo da humidade relativa interior', Tese de Doutoramento, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2015.

12345

DE MODELOS BIM ESTÁTICOS A GÉMEOS DIGITAIS DINÂMICOS: UMA ABORDAGEM ABERTA E INTEROPERÁVEL

Nuno Oliveira, Hélder Silva, Vitor Cardoso, Luís Sanhudo

ptBIM

DE MODELOS BIM ESTÁTICOS A GÉMEOS DIGITAIS DINÂMICOS: UMA ABORDAGEM ABERTA E INTEROPERÁVEL

Nuno Oliveira [(1)], Hélder Silva [(2)], Vitor Cardoso [(3)], Luís Sanhudo [(4)]

(1) BUILT CoLAB, Porto, ID ORCID 0009-0009-6545-1746
(2) BUILT CoLAB, Porto, ID ORCID 0009-0001-9366-4855
(3) BUILT CoLAB, Porto, ID ORCID 0000-0002-4886-2406
(4) BUILT CoLAB, Porto, ID ORCID 0000-0002-2578-6981

Resumo
A evolução recente do estado da arte em *Building Information Modelling* (BIM) e Gémeos Digitais evidencia a necessidade de soluções, que ultrapassem a visualização de modelos e integrem dados heterogéneos, ao longo do ciclo de vida dos ativos. Persistem limitações ligadas à fragmentação tecnológica, formatos proprietários, dificuldade em incorporar séries temporais e falta de mecanismos inteligentes de monitorização e validação. Este artigo apresenta uma plataforma de Gémeos Digitais que lida com estes desafios, numa abordagem aberta, modular e interoperável. Baseada em *Industry Foundation Classes* (IFC) e tecnologias *open-source*, a solução unifica modelos BIM, documentação multimodal e séries temporais de fontes externas. O *backend* propõe uma arquitetura que combina bases de dados relacionais, cache, armazenamento distribuído e configuração dinâmica de ligações a múltiplas bases de dados de séries temporais, permitindo integração escalável e flexível. Inclui um módulo inteligente com métodos de deteção de anomalias e monitorização da integridade dos fluxos de dados, reforçando a fiabilidade e automatizando diagnósticos. No *frontend*, a plataforma oferece um ambiente *web* unificado com visualização tridimensional de alta *performance*, navegação hierárquica e associação semântica entre elementos BIM, documentação e dados dinâmicos. As interfaces de gestão permitem configuração granular de propriedades, integrações, permissões e histórico, promovendo colaboração. Ao transformar modelos BIM estáticos em representações dinâmicas e continuamente informadas, a plataforma eleva a operacionalização dos Gémeos Digitais no setor da Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação (AECO). O contributo do presente trabalho assenta na combinação de interoperabilidade aberta, integração multimodal e capacidades analíticas inteligentes, constituindo um avanço relevante para a gestão adaptativa de ativos construídos.

1. Introdução

O conceito de Gémeo Digital foi introduzido por Michael Grieves em 2003 no contexto da gestão do ciclo de vida de produtos, definindo-o como uma representação virtual [1] ligada ao seu equivalente físico através de fluxos bidirecionais de dados [2]. Trabalhos posteriores, nomeadamente Tao et al. [3], expandiram este conceito descrevendo-o como um sistema integrado que combina entidades físicas, modelos virtuais, dados e serviços.

No setor AECO, esta perspetiva contrasta com o *Building Information Modelling* (BIM), que permanece predominantemente centrado nas fases de projeto e construção, sem ligação contínua ao ativo físico. Consequentemente, os modelos BIM são frequentemente subutilizados após a entrega da obra, desperdiçando informação geométrica e semântica com potencial para suportar a fase operacional, que representa a maior parcela do ciclo de vida dos ativos.

Este trabalho propõe uma plataforma de Gémeos Digitais, concebida como uma infraestrutura genérica para integração de modelos BIM e dados operacionais dinâmicos, ao longo do ciclo de vida de ativos construídos. A plataforma permite a associação de elementos de modelos IFC a séries temporais provenientes de sistemas heterogéneos, suportando diferentes domínios de aplicação através de mecanismos de configuração dinâmica e integração de dados distribuídos. A arquitetura assenta em três princípios fundamentais: (i) utilização exclusiva de formatos abertos e interoperáveis; (ii) acesso a fontes de dados externas sem centralização obrigatória; e (iii) uma arquitetura modular orientada a eventos, promovendo extensibilidade, escalabilidade e independência tecnológica.

Neste contexto, as principais contribuições deste trabalho incluem: (i) uma arquitetura aberta e interoperável, baseada exclusivamente em tecnologias *open-source* e no formato IFC; (ii) um modelo de integração distribuída que permite associar séries temporais externas a elementos BIM sem necessidade de centralização de dados; (iii) um mecanismo de sincronização bidirecional entre a representação espacial 3D e a estrutura hierárquica de elementos do modelo; e (iv) uma plataforma funcional validada em ambiente operacional real com dados de infraestruturas críticas.

As secções seguintes apresentam o enquadramento de requisitos e limitações (Secção 2), a implementação técnica da plataforma (Secção 3), a discussão e desenvolvimentos futuros (Secção 4) e as conclusões (Secção 5).

2. Enquadramento de Requisitos e Limitações

A interoperabilidade constitui um desafio central na implementação de Gémeos Digitais no setor AECO. O formato IFC, desenvolvido pela buildingSMART e normalizado como ISO 16739 [4], emergiu como principal *standard* aberto para representação e troca de dados BIM. Baseado na linguagem EXPRESS, o IFC define uma estrutura semântica orientada a objetos que representa geometria, propriedades e relações hierárquicas e funcionais entre elementos. Dai et al. [5] demonstraram que entidades como *IfcTask*, *IfcWorkPlan* e *IfcResource* permitem representar processos e recursos, expandindo o seu âmbito para além da modelação geométrica. Apesar destas capacidades, a adoção prática do IFC enfrenta limitações relevantes. Processos de interoperabilidade entre diferentes ferramentas resultam frequentemente na perda de informação, particularmente ao nível de propriedades e relações semânticas. A complexidade do *schema*, com mais de 800 entidades na versão IFC4 [6], constitui também um obstáculo à

sua implementação consistente. Estas limitações técnicas do IFC são agravadas por lacunas identificadas na literatura sobre soluções de Gémeos Digitais para o setor AECO. A maioria das plataformas comerciais apresenta quatro problemas recorrentes: (i) dependência de formatos proprietários que restringem interoperabilidade; (ii) exigência de centralização de dados operacionais, conflituando com políticas de gestão organizacional; (iii) capacidades analíticas limitadas a limiares estáticos, sem suporte para regras temporais complexas; e (iv) arquiteturas monolíticas que dificultam extensibilidade e escalabilidade. Trabalhos recentes demonstram a viabilidade técnica da integração em tempo real entre modelos IFC e dados operacionais [7], validando a abordagem conceptual. No entanto, persiste a necessidade de utilização de *frameworks* que integrem de forma coerente modelos BIM, dados temporais e documentação, mantendo autonomia sobre as fontes de dados originais.
Nenhuma abordagem existente assegura simultaneamente interoperabilidade baseada em *standards* abertos, preservação da descentralização dos dados e capacidades analíticas extensíveis no âmbito de uma arquitetura unificada. Em resposta às limitações identificadas, a abordagem proposta operacionaliza as contribuições introduzidas na Secção 1, através de quatro contribuições principais: (i) uma arquitetura completamente baseada em *standards* abertos e tecnologias *open-source*, eliminando dependências de fornecedores; (ii) um modelo de consultas que preserva dados nas fontes originais, respeitando autonomia organizacional; (iii) sincronização bidirecional determinística entre representações 3D e hierárquicas com latência controlada; e (iv) um motor de regras extensível com processamento distribuído próximo das fontes de dados. Estas características endereçam diretamente as limitações identificadas, posicionando a abordagem proposta como uma alternativa tecnicamente robusta e escalável face às soluções comerciais predominantes.

3. Implementação e soluções técnicas

A arquitetura da plataforma segue um modelo em três camadas – visualização, orquestração e dados - conforme ilustrado na *Figura 1*. Esta separação permite desacoplamento funcional entre interface, lógica de negócio, persistência e processamento analítico.
A camada de visualização fornece a interface interativa baseada em tecnologias web, enquanto a camada de orquestração atua como intermediário através de uma *Application Programming Interface* (API) baseada em arquitetura *Representational State Transfer* (REST) e canais de comunicação em tempo real. A camada de dados assegura persistência e acesso eficiente à informação, e o módulo de inteligência executa avaliação contínua sobre fluxos de dados temporais. Esta arquitetura promove escalabilidade, extensibilidade e independência tecnológica entre componentes.

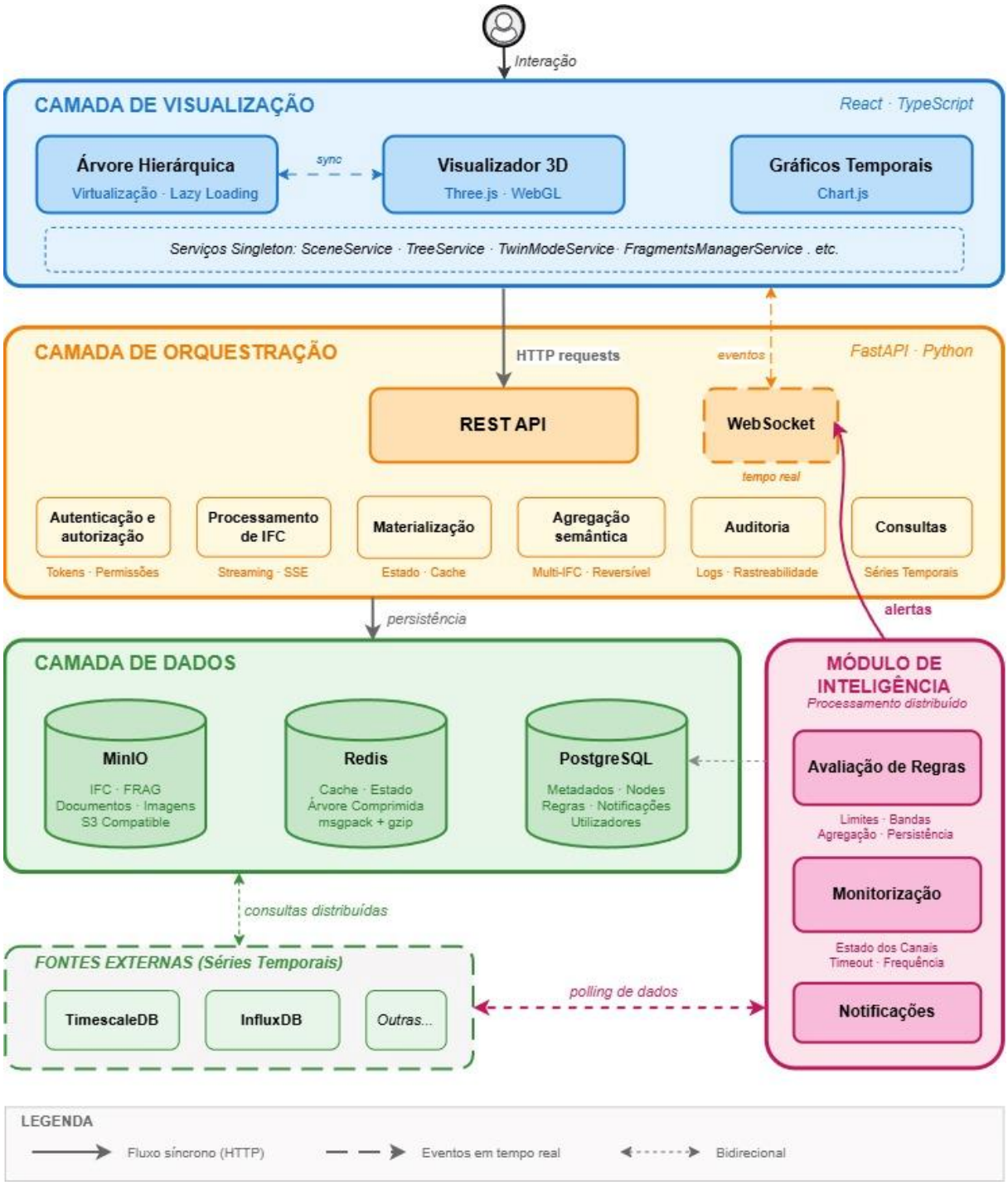


Figura 1 – Arquitetura modular da plataforma de Gémeo Digital

3.1. Camada de visualização: Sincronização, escalabilidade e interação

A camada de visualização constitui a interface entre o utilizador e o Gémeo Digital, integrando três domínios: representação geométrica 3D, estrutura hierárquica semântica e dados dinâmicos. Esta integração introduz desafios de sincronização, escalabilidade e coerência,

nomeadamente: (i) sincronização bidirecional entre vistas; (ii) *performance* em modelos de grande dimensão; e (iii) extensibilidade para novas fontes de dados.

A solução desenvolvida para a camada de visualização adotou uma arquitetura de serviços modulares orientada a eventos, tão desacoplados quanto possível entre si e em relação à lógica de renderização da interface, constituindo uma única fonte de verdade para cada domínio da aplicação. Esta arquitetura baseia-se na combinação de dois padrões – Instância Única e Publicação/Subscrição (*Singleton* e *Publisher/Subscriber*) – sendo cada domínio da interface gerido por um serviço especializado que mantém o seu próprio estado e notifica os subscritores, de forma individual ou global, sempre que ocorrem alterações relevantes. Esta abordagem permite que os componentes visuais reajam a mudanças de estado sem acoplamento direto entre si.

O mecanismo de sincronização bidirecional assegura a coerência entre a vista espacial 3D e a vista hierárquica em árvore. A implementação baseia-se em dois componentes principais: um mapeamento elemento-nó, gerado durante o carregamento do modelo, que associa identificadores IFC aos nós correspondentes na árvore, permitindo tradução direta entre domínios sem travessias hierárquicas; e um padrão de guarda de origem (*origin guard pattern*), no qual o serviço de cena mantém uma *flag* que indica se a alteração de seleção teve origem na cena 3D ou na árvore. Quando a seleção é iniciada na cena, o serviço consulta o mapeamento e atualiza a árvore; quando é iniciada na árvore, a guarda é ativada antes da propagação para a cena, prevenindo recursividade. A guarda é desativada após a operação, garantindo a propagação correta de eventos subsequentes e uma sincronização determinística e de baixa latência.

A escalabilidade e a gestão de desempenho, tanto da cena 3D como da interface contextual, tornam-se críticas ao trabalhar com modelos BIM complexos que geram hierarquias com dezenas de milhares de nós. Para garantir responsividade, o sistema implementa estratégias que reduzem alocações redundantes e evitam a renderização de elementos não visíveis. Entre estas destacam-se: a reutilização de instâncias de objetos 3D ou determinados valores de referência (e.g. Vector3, Matrix4, etc), eliminando alocações de memória durante atualizações; *frustum culling* para excluir *datapoints* fora do campo de visão antes do cálculo de projeções; virtualização da hierarquia em árvore, em que apenas os nós visíveis na *viewport* são renderizados, sendo os restantes representados por *placeholders*; execução de operações de filtragem e pesquisa sobre estruturas em memória, em vez do DOM (*Document Object Model*), reduzindo significativamente o número de elementos ativos; e *clustering* baseado em indexação espacial (*spatial hash grid*), que reduz a complexidade de $O(n^2)$ para $O(n)$.

A ancoragem espacial das séries temporais é realizada através do posicionamento de *datapoints* nos elementos BIM correspondentes, utilizando o centro da *bounding box* como posição representativa (*Figura 2*). Quando múltiplos *datapoints* se sobrepõem no espaço de ecrã, são agrupados num *cluster* com indicação da contagem e possibilidade de expansão por interação do utilizador. As atualizações de *clustering* são sincronizadas com o ciclo de renderização: durante o movimento da câmara são limitadas (*throttled*) a intervalos de 100 ms e, em repouso, executadas imediatamente, garantindo que estes cálculos não comprometem a fluidez da navegação.

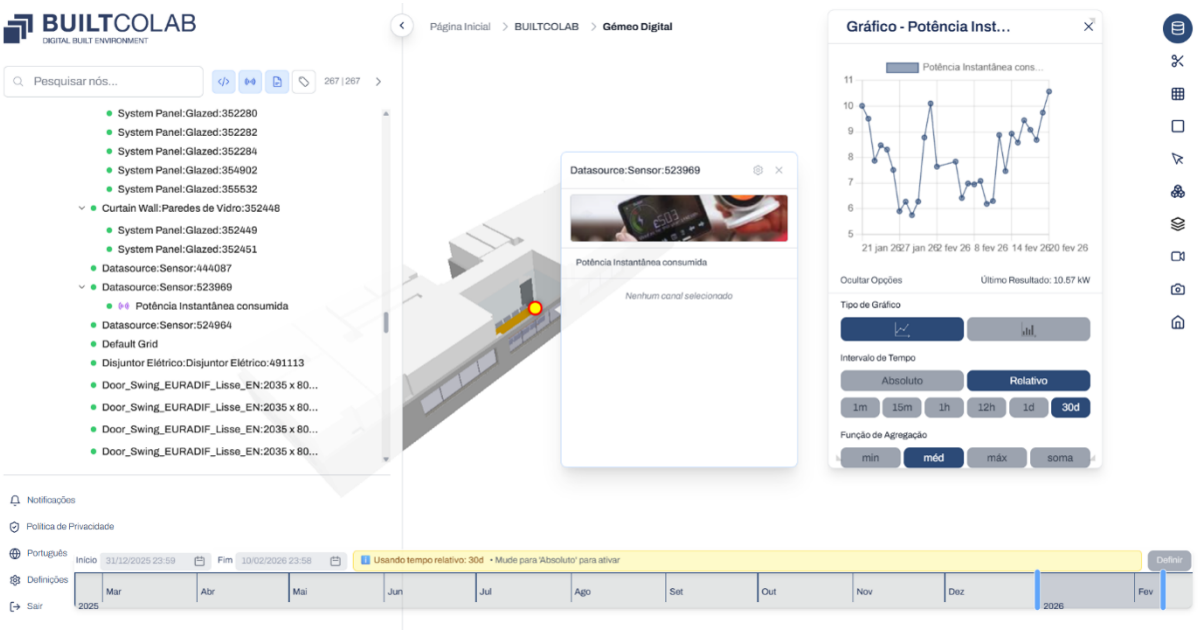


Figura 2- Visualização de séries temporais associadas a elementos do modelo

3.2 Camada de Serviços: Orquestração

A camada de orquestração atua como coordenador central da plataforma, expondo uma API REST que abstrai a complexidade dos sistemas subjacentes e articula a interação entre as camadas de visualização e de dados, gerindo fluxos assíncronos, políticas de acesso e uma representação consistente do estado global do sistema.

A gestão de acesso baseia-se num mecanismo de autenticação e autorização baseado em *tokens*, suportado por um modelo de permissões em três níveis (*root*, *admin* e *viewer*), que controla o acesso a projetos, recursos e operações sensíveis. O *onboarding* de utilizadores é realizado através de convites por email com *tokens* temporários, permitindo acompanhar explicitamente o ciclo de vida de cada utilizador desde o convite até à ativação.

O processamento de ficheiros IFC é tratado como uma operação assíncrona de longa duração, refletindo a complexidade inerente à ingestão de modelos BIM de grande dimensão. Durante o *upload*, o progresso é transmitido ao *frontend* através de *Server-Sent Events* (SSE), permitindo acompanhar fases sucessivas como ingestão do ficheiro, extração de entidades, construção e consolidação da hierarquia e atualização do estado operacional. Esta abordagem assegura *feedback* contínuo para o utilizador e evita bloqueios da interface durante operações potencialmente demoradas.

Para garantir responsividade sob carga, a plataforma adota um padrão explícito de separação entre operações de leitura e escrita, suportado por instâncias de base de dados distintas e *pools* de conexão dedicados. As operações de escrita e de consistência centralizam-se na base primária, enquanto consultas de leitura intensiva podem ser encaminhadas para réplicas, reduzindo a contenção de recursos durante processos assíncronos de elevada carga. Apesar de partilharem o mesmo sistema de persistência, estes fluxos utilizam mecanismos de acesso isolados, assegurando que pedidos concorrentes continuem a ser servidos normalmente, mesmo durante operações exigentes como o carregamento de modelos IFC ou a reconstrução de hierarquias.

A camada de orquestração integra ainda um serviço de materialização de estado baseado em Redis, responsável por manter uma representação atualizada da árvore hierárquica dos projetos. Ao deslocar para o *backend* o custo computacional da construção e atualização desta estrutura, o *frontend* passa a consumir apenas uma imagem estável do estado atual, limitando-se à sua renderização e à interação via API, sem necessidade de processamento adicional ou acesso direto a estruturas complexas.
São igualmente implementados nesta camada serviços de alto nível específicos do domínio, como o mecanismo de unificação de hierarquias provenientes de múltiplos ficheiros IFC. Este serviço permite consolidar nós semanticamente equivalentes numa única representação operacional, preservando histórico completo das transformações para possibilitar reversão futura e garantindo coerência semântica entre diferentes fontes.
Por fim, a comunicação em tempo real é suportada por um servidor Socket.IO integrado, responsável pela transmissão de eventos relevantes – como alertas ou alterações de estado – para clientes conectados. Todas as operações críticas da plataforma são registadas com metadados estruturados, assegurando rastreabilidade completa e suporte a auditoria.

3.3. Camada de dados: Armazenamento, integração e inteligência

A camada de dados constitui o núcleo semântico e analítico da plataforma, combinando armazenamento estruturado, cache de alto desempenho e processamento contínuo para deteção proativa de anomalias. É responsável por preservar a ligação entre o modelo BIM e os dados operacionais, executar a lógica de monitorização junto das fontes e fornecer informação consistente e imediata à camada de orquestração.
O armazenamento estruturado assenta em PostgreSQL, persistindo metadados de projetos, utilizadores, regras, notificações e a hierarquia extraída de modelos IFC. A abstração *Node* representa uniformemente elementos BIM, documentos e canais de dados, permitindo enriquecer progressivamente a árvore hierárquica sem alterar os ficheiros IFC originais e preservando sempre a ligação semântica através dos respetivos identificadores.
Os canais de dados funcionam como ponte entre o modelo semântico e séries temporais externas, encapsulando os metadados necessários para identificar e consultar dados de sistemas heterogéneos. Esta abordagem permite integrar múltiplas fontes externas sem migração ou centralização, garantindo flexibilidade, escalabilidade e coerência semântica.
O Redis atua como cache e serviço de materialização de estado, mantendo uma versão atualizada da árvore hierárquica para acesso eficiente. Atualizações incrementais da árvore – incluindo a adição, modificação ou remoção de nós que representam elementos do modelo BIM, documentos associados ou canais de dados – são aplicadas de forma inteligente, mantendo o estado sempre consistente para os consumidores da API.
O MinIO assegura persistência de ficheiros binários, como modelos IFC originais, fragmentos, documentação ou multimédia, através de uma API compatível com S3, permitindo migração transparente entre infraestruturas locais e *cloud*.
O módulo de inteligência opera continuamente sobre fluxos de dados temporais, avaliando a integridade e o estado dos canais e aplicando regras de monitorização configuradas pelos utilizadores. O processamento é distribuído de forma eficiente, mantendo *buffers* locais de dados e garantindo que a avaliação de regras, a deteção de anomalias e a monitorização de saúde dos canais ocorrem próximo das fontes de dados. Alertas e alterações relevantes de estado são persistidos e propagados em tempo real para a camada de orquestração, assegurando que os clientes conectados recebem informação atualizada de forma imediata e consistente.

4. Discussão

A plataforma apresentada demonstra que é possível implementar um sistema de Gémeos Digitais para infraestruturas sem dependências proprietárias, utilizando exclusivamente o formato IFC para modelos BIM e tecnologias *open-source* para persistência, processamento e visualização. As decisões arquiteturais descritas na Secção 3 respondem diretamente às limitações identificadas no enquadramento inicial.

A arquitetura foi concebida para suportar a monitorização integrada de infraestruturas complexas, permitindo correlacionar informação espacial, temporal e semântica em contextos como infraestruturas técnicas, sistemas industriais ou ativos distribuídos. Em particular, a capacidade de suportar o carregamento de múltiplos modelos IFC num mesmo projeto, com unificação automática de elementos semanticamente equivalentes através dos respetivos GlobalId ao nível de categorias como IfcProject, IfcSite, IfcBuilding ou IfcBuildingStorey, permite compor representações coerentes a partir de modelos distintos, tipicamente associados a diferentes especialidades, mantendo consistência hierárquica e suportando cenários de integração progressiva de informação.

A navegação bidirecional entre o modelo tridimensional e as séries temporais associadas permite contextualizar espacialmente a informação monitorizada, facilitando a sua interpretação. O mecanismo de definição de regras configurável promove a autonomia dos utilizadores finais, possibilitando a adaptação a diferentes cenários operacionais sem necessidade de desenvolvimento adicional.

O modelo de consultas, suportado pelo mecanismo de canais como ponte semântica, constitui uma contribuição diferenciadora face ao paradigma predominante de centralização de dados.

A solução apresenta limitações que devem ser reconhecidas. A sincronização é atualmente unidirecional: dados fluem do mundo físico para o modelo digital, mas a plataforma não implementa atuação sobre sistemas de controlo. As capacidades analíticas baseiam-se em regras determinísticas predefinidas;

4.1. Caso de aplicação

A plataforma foi validada em contexto operacional real numa estação de tratamento de águas residuais (ETAR) com capacidade para cerca de 100 mil habitantes e caudal máximo de aproximadamente 40 mil m^3/dia. O modelo BIM da infraestrutura, no formato IFC, contém a representação geométrica e semântica dos equipamentos e sistemas, incluindo unidades de tratamento, sistemas de bombeamento e equipamentos de monitorização. Foram configurados canais de dados para monitorização de parâmetros operacionais críticos - caudal, pH, temperatura, níveis de tanques, pressão em condutas e estado de equipamentos eletromecânicos - associados a elementos específicos do modelo. A plataforma permite que operadores naveguem pelo modelo 3D, identifiquem equipamentos e consultem séries temporais em tempo real, contextualizando espacialmente a informação monitorizada. A interface suporta ainda a associação de documentação técnica aos elementos do modelo, criando um repositório integrado de informação operacional.

O caso de estudo demonstrou a viabilidade da abordagem proposta, confirmando que consultas distribuídas a bases de dados externas são adequadas para monitorização operacional e que a hierarquia semântica do IFC pode ser explorada para contextualização espacial de dados dinâmicos.

4.2. Avaliação de desempenho

O desempenho da plataforma resulta de decisões arquiteturais orientadas à responsividade e escalabilidade. A separação explícita entre operações de leitura e escrita, combinada com o serviço de materialização de estado em Redis, permite manter elevada responsividade mesmo durante operações de carga intensiva. O mecanismo de atualizações incrementais evita reconstruções dispendiosas da árvore hierárquica, enquanto a comunicação em tempo real através de Socket.IO assegura latências inferiores a 100 ms na propagação de eventos e notificações.

A interface foi validada através de um painel de monitorização integrado, com testes conduzidos em modelos de diferentes dimensões. Em modelos até cerca de 5.000 elementos, a plataforma mantém consistentemente 60 *frames per second* (FPS); em modelos de maior dimensão, até 100.000 elementos, a taxa de atualização situa-se entre 30 e 45 FPS em *hardware* dedicado. A conversão de modelos IFC para fragmentos binários otimizados resulta em reduções típicas de 70–90% no tamanho dos ficheiros, com tempos de carregamento inicial entre 2 e 8 segundos consoante a dimensão do modelo. Algoritmos de *clustering* espacial com complexidade O(n) asseguram responsividade na visualização de marcadores mesmo em cenas densas.

Relativamente às consultas de séries temporais, o sistema de agregação automática ajusta dinamicamente a granularidade em função do intervalo solicitado: consultas de dados diários com agregação por minuto completam-se em menos de 500 ms, consultas mensais com agregação horária em menos de 1 segundo, e consultas anuais com agregação diária em menos de 2 segundos, conforme adaptador de base de dados. A taxa de acerto em *cache* situa-se em cerca de 70% para consultas repetidas, reduzindo significativamente a carga sobre as bases de dados externas.

4.3. Desenvolvimentos futuros

As limitações identificadas apontam direções claras para o desenvolvimento futuro da plataforma. A expansão das capacidades analíticas constitui uma prioridade, nomeadamente através da incorporação de técnicas de *machine learning* para deteção de padrões anómalos que escapam a regras determinísticas. Estas técnicas permitirão identificar anomalias emergentes, degradações graduais e correlações entre variáveis sem exigir definição prévia de limiares, complementando o motor de regras existente com capacidades de aprendizagem adaptativa.

A evolução para sincronização bidirecional representa outro eixo fundamental de desenvolvimento. A implementação de mecanismos de atuação sobre sistemas de controlo permitirá que a plataforma transcenda a monitorização passiva, elevando o nível de maturidade do gémeo digital e aproximando-o de cenários de automação e otimização operacional em tempo real.

A validação prolongada em ambiente de produção, com cargas de trabalho substancialmente superiores e requisitos de disponibilidade contínua, permitirá identificar eventuais limitações de robustez e escalabilidade não evidenciadas no presente contexto de investigação aplicada. Finalmente, o desenvolvimento de módulos de simulação e previsão, capazes de gerar cenários futuros baseados em dados históricos e em tempo real, abrirá possibilidades para antecipação de falhas e suporte a decisões de planeamento proativo.

5. Conclusões

Este artigo abordou uma plataforma de Gémeos Digitais para o setor AECO que endereça lacunas significativas nas soluções existentes, nomeadamente a dependência de formatos proprietários, a exigência de centralização de dados e a ausência de capacidades analíticas integradas com a semântica BIM.

A arquitetura proposta assenta em três camadas funcionalmente desacopladas - visualização, orquestração e dados - implementadas exclusivamente com tecnologias *open-source* e o formato IFC como *standard* de interoperabilidade. As principais contribuições técnicas incluem a sincronização bidirecional determinística entre representações 3D e hierárquicas, estratégias de escalabilidade baseadas em *clustering* espacial e virtualização de hierarquias, um modelo de integração distribuída através de canais como ponte semântica que preserva a autonomia sobre fontes de dados externas, e um módulo de inteligência com processamento distribuído.

A validação em contexto operacional real demonstrou a viabilidade da abordagem proposta e a arquitetura apresentada demonstra ser possível construir soluções tecnicamente competitivas que preservam a autonomia das organizações sobre os seus dados e ferramentas, contribuindo para a democratização do acesso a tecnologias de Gémeos Digitais no setor AECO.

Agradecimentos

Este trabalho tem ainda o cofinanciamento do PRR – Plano de Recuperação e Resiliência e União Europeia – www.recuperarportugal.gov.pt | PRR – Investimento RE-C05-i02: Missão Interface – CoLAB.

Referências

[1] C. M. Eastman, P. Teicholz, R. Sacks, e K. Liston, BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors, Hoboken, N.J.: Wiley, 2008.

[2] M. Grieves e J. Vickers, Digital Twin: Mitigating Unpredictable, Undesirable Emergent Behavior in Complex Systems, in Transdisciplinary Perspectives on Complex Systems, Springer, 2017.

[3] F. Tao, Q. Qi, A. Liu, e A. Kusiak, Digital Twin in Industry: State-of-the-Art, IEEE Transactions on Industrial Informatics, 2019.

[4] ISO TC184/SC4, ISO 16739:2013 Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing in the construction and facility management industries, International Organization for Standardization (ISO), 2013.

[5] C. Dai, K. Cheng, e B. Liang, Digital Twin Modeling Method Based on IFC Standards for Building Construction Processes, Journal of Computing in Civil Engineering, 2021.

[6] BuildingSMART International, Industry Foundation Classes (IFC) – ISO 16739, 2020. https://www.buildingsmart.org/standards/bsi-standards/industry-foundation-classes/

[7] M. Sedigh e J. Müller, IFC-based Digital Twin for Real-Time Building Data Integration and Its Case Study, Journal of Physics: Conference Series, 2025.

12345

ATIVOS MAIS EFICIENTES COM GÉMEOS DIGITAIS: INTEGRAÇÃO BIM E OPERAÇÃO

Renata Castelo-Branco, Paulo Rodrigues, Gaspar Miranda, Samuel Santos, Bruno Oliveira

ptBIM

ATIVOS MAIS EFICIENTES COM GÉMEOS DIGITAIS: INTEGRAÇÃO BIM E OPERAÇÃO

Renata Castelo-Branco [(1)], Paulo Rodrigues [(1)], Gaspar Miranda [(1)], Samuel Santos [(1)], Bruno Oliveira [(1)]

(1) Quadrante Engenharia e Consultoria, S.A.

Resumo
A crescente maturidade da metodologia *Building Information Modeling* (BIM) em Portugal tem impulsionado a sua extensão para além das fases de projeto e construção, abrangendo a operação e gestão de ativos. No entanto, a transição entre o modelo BIM estático e a gestão operacional baseada em dados em tempo real continua a representar um desafio técnico e organizacional. Este artigo apresenta o desenvolvimento e validação de um gémeo digital numa Estação de Tratamento de Águas Residuais (ETAR), integrando modelo BIM, documentação técnica e dados operacionais provenientes do ativo e de laboratório. A solução, implementada através da plataforma Q. BIMConnect, permitiu consolidar 62 pontos de dados, gerar histórico operacional de cinco meses e suportar análises técnicas com impacto direto na eficiência energética e estabilidade do processo. Os resultados demonstram o potencial da abordagem na identificação de oportunidades de poupança energética estimadas em cerca de 3 970 €/mês apenas na fase piloto. O caso de estudo evidencia a importância da interoperabilidade OpenBIM (IFC) e da governação de dados como fatores críticos para a escalabilidade da solução.

1. Introdução

A metodologia *Building Information Modeling* (BIM) tem transformado o setor da Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação (AECO), promovendo maior rigor, colaboração e eficiência em todas as fases do ciclo de vida dos ativos. Em Portugal, a maturidade BIM tem vindo a aumentar, com um número crescente de entidades públicas e privadas a exigir a continuidade do BIM para além da fase de projeto, estendendo-o à construção e à operação.
Diversos estudos indicam que a fase de operação e manutenção pode representar mais de 60–80% do custo total do ciclo de vida de um ativo construído [1,2]. A ausência de continuidade digital entre o modelo BIM e os sistemas operacionais resulta frequentemente em perda de informação e fragmentação de dados, comprometendo a qualidade do suporte à decisão [3,4].

A evolução para gémeos digitais representa uma resposta a esta lacuna, permitindo integrar modelos geométricos e semânticos com dados operacionais em tempo real [5]. O presente artigo apresenta um caso de estudo aplicado a uma Estação de Tratamento de Águas Residuais (ETAR), no qual se implementou um gémeo digital com o objetivo de: (i) consolidar modelo BIM e documentação técnica; (ii) integrar dados operacionais em tempo real; (iii) criar histórico consistente para análise; e (iv) identificar oportunidades de otimização energética e operacional.

2. Do BIM ao gémeo digital

A extensão do BIM à fase de operação tem sido enquadrada no conceito de *Asset Information Model* (AIM), conforme definido na ISO 19650 [6]. A norma estabelece princípios de gestão da informação ao longo do ciclo de vida do ativo, promovendo continuidade digital entre projeto, construção e operação. Adicionalmente, o formato IFC (ISO 16739) [7] constitui o principal mecanismo de interoperabilidade OpenBIM, permitindo neutralidade tecnológica e mitigação de risco de dependência de fornecedor.

Apesar dos avanços normativos e tecnológicos, diversos estudos evidenciam que a integração do modelo BIM com sistemas operacionais dinâmicos continua a representar um desafio significativo, particularmente na fase de operação, onde predominam plataformas heterogéneas como *Building Management System* (BMS), *Supervisory Control and Data Acquisition* (SCADA) e bases de dados independentes [3,4]. A indústria da construção continua a operar com informação fragmentada e distribuída por múltiplas plataformas, dificultando uma gestão integrada e a exploração da informação a diferentes níveis de detalhe e para distintos perfis de decisão. Diversos autores apontam os gémeos digitais como uma infraestrutura integradora capaz de consolidar dados heterogéneos e suportar processos de decisão multi-escala [5,8,9].

O conceito de gémeo digital evoluiu de representações geométricas enriquecidas para sistemas integrados que combinam (i) modelos físico-geométrico (de base BIM, Sistemas de Informação Geográfica ou outros), (ii) modelos semânticos de dados que conferem camadas de informação relacionadas com os objetos do modelo geométrico, (iii) fluxos contínuos de dados operacionais, também eles alocados geometricamente no mundo digital; e por fim (iv) analítica (automatizada ou não) sobre estes dados que dão suporte à decisão na operação [5,9,10].

No contexto das infraestruturas do sector AECO, os gémeos digitais permitem fazer uma monitorização contínua de parâmetros críticos, suportam otimização energética baseada em analítica de dados em tempo real e viabilizam estratégias de manutenção preditiva, contribuindo para a redução global de *operating expenses* (OPEX) [9,11,12].

3. Gémeos digitais na indústria

Neste contexto, o departamento de gémeos digitais da QUADRANTE, desenvolveu uma metodologia dedicada à transformação digital do setor, e, em parceria com o BUILT CoLAB, criou a plataforma Q. BIMConnect. Esta solução integra modelos BIM com dados operacionais em tempo real, potenciando a gestão inteligente e sustentável de infraestruturas [13]. Neste artigo, apresenta-se a metodologia desenhada para ultrapassar os desafios sentidos pelos profissionais da indústria ao nível da fragmentação de informação e a sua aplicação a um caso de estudo real.

A metodologia proposta para este tipo de projetos estrutura-se em três fases fundamentais:

- Recolha e consolidação dos dados provenientes do ativo em operação, assegurando a sua ingestão, normalização e armazenamento estruturado;
- Análise técnica desses dados por equipas especializadas, com o objetivo de validar a conformidade do desempenho face aos parâmetros de projeto e de exploração, bem como identificar oportunidades de otimização operacional e energética;
- Sistematização dos resultados da análise e apresentação ao operador do ativo, para implementação das recomendações técnicas e a incorporação das melhorias no processo.

Estas fases ocorrem em ciclo contínuo. As melhorias implementadas retroalimentam o sistema com novos dados operacionais, permitindo uma lógica de monitorização contínua, validação recorrente e otimização progressiva do desempenho do ativo.

3.1 Plataforma de gémeos digitais

A solução tecnológica desenvolvida para suportar esta metodologia, a plataforma Q. BIMConnect, assenta em princípios OpenBIM e na utilização de formatos abertos, nomeadamente IFC e COBie, garantindo interoperabilidade entre sistemas, escalabilidade da arquitetura e independência tecnológica ao longo do ciclo de vida do ativo. A arquitetura da plataforma (Figura 1) estrutura-se em três camadas complementares:

- O modelo BIM, tipicamente desenvolvido em ambiente Revit e exportado em formato IFC, constitui a base espacial e semântica do sistema, assegurando o enquadramento geométrico, a estrutura hierárquica do ativo e a identificação unívoca dos seus componentes.
- Os dados operacionais provenientes de múltiplos sistemas, como SCADA, *Internet of Things* (IoT) e BMS. Estes dados são agregados num *data warehouse* central, onde são normalizados, estruturados e preparados para processamento em ambiente *cloud*, permitindo ingestão e atualização em tempo real.
- Serviços de análise conduzidos pela equipa técnica do prestador de serviços, apresentados via *dashboards* interativos, e relatórios periódicos.

Esta abordagem permite que modelo geométrico, documentação e histórico operacional coexistam numa interface única, disponibilizando à equipa de operação uma ferramenta de monitorização contínua, análise de desempenho e apoio fundamentado à tomada de decisão.

3.2 Níveis de gémeos digitais

Na solução Q. BIMConnect, os gémeos digitais são conceptualizados como um processo evolutivo, estruturado em níveis progressivos de maturidade funcional. Esta abordagem permite uma implementação faseada, alinhada com o grau de desenvolvimento digital do ativo e com os objetivos operacionais definidos, começando com um modelo informativo estático que transita de forma gradual para um sistema dinâmico de suporte à decisão, onde o valor gerado aumenta proporcionalmente à integração entre modelo, dados e analítica. A Figura 2 apresenta visualmente este processo de evolução e a Tabela 1 sumariza as funcionalidades e benefícios de cada um dos níveis. O projeto piloto descrito neste artigo incide sobre as camadas ‘Gestão de Informação’ e ‘Integração Operacional’.



Figura 1: Definição da arquitetura funcional da solução.

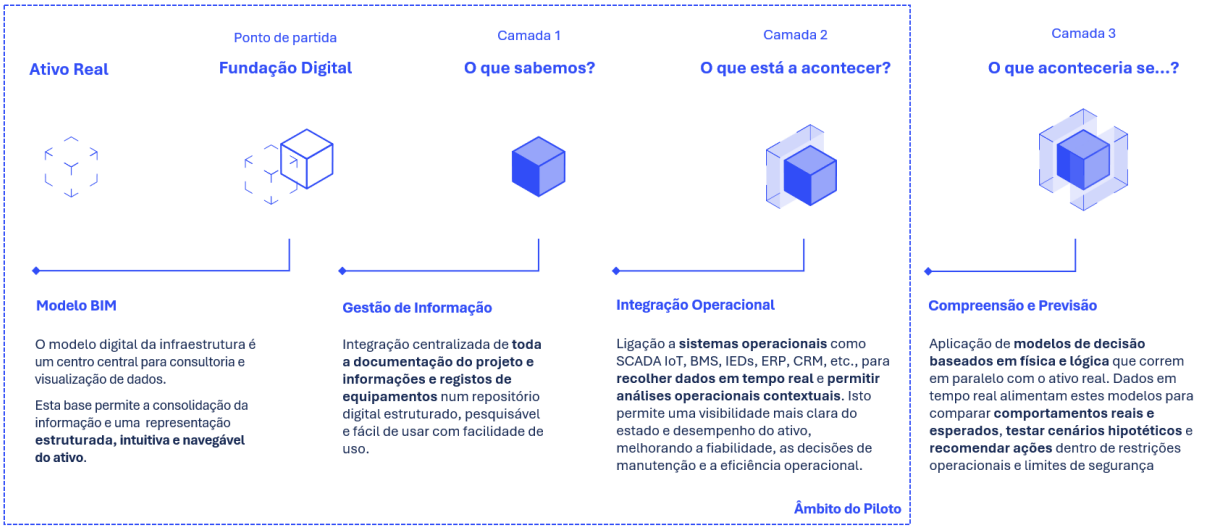


Figura 2: Níveis progressivos de maturidade funcional de um gémeo digital.

4. Projeto piloto

Com o objetivo de validar esta abordagem, foi implementado um projeto piloto na ETAR de Campo-Valongo. Esta ETAR, construída em 1996 para servir as povoações de Valongo, Campo e Sobrado, foi projetada para um horizonte de 40 anos, com implementação faseada de três linhas de tratamento. O processo baseia-se em tratamento secundário por lamas ativadas, com quatro reatores biológicos retangulares e decantação primária, sem remoção de azoto. As lamas primárias e em excesso do tratamento biológico são sujeitas a espessamento, digestão a quente e desidratação mecânica, utilizando o biogás gerado para aquecimento. O efluente é descarregado no Rio Ferreira, cumprindo os parâmetros definidos pelo Decreto-Lei n.º 152/97. No horizonte de 2035, a ETAR está dimensionada para uma população equivalente de 98.278

hab. eq., com caudais médios de 18 553 m³/d em tempo seco e 14 560 m³/d em tempo de chuva, e caudais de ponta de 1 340 m³/h e 1 673 m³/h, respetivamente.

Tabela 1: Caracterização das camadas funcionalidades e seus benefícios operacionais

Camada	Descrição	Funcionalidades	Benefícios
Fundação digital	Base estruturante da informação do ativo ao longo do ciclo de vida	Modelo BIM (IFC, LOD 200, LOI 1); Estrutura hierárquica e parametrização técnica	Fonte única de verdade; Rastreabilidade e consistência de metadados; Redução de perda de dados entre fases
Gestão de informação	Repositório estruturado ancorado no modelo BIM, agregando documentação técnica e operacional	Centralização de documentação ligada ao modelo; Biblioteca pesquisável por ativo ou sistema	Eliminação de dispersão documental; Eficiência em auditorias e inspeções; Disponibilidade de informação
Integração operacional	Consolidação de dados em tempo real provenientes do ativo em operação	Ligação a BMS/SCADA/IoT; *Dashboards* e indicadores operacionais; Histórico e relatórios	Visibilidade contínua de desempenho; Decisão baseada em dados atualizados; Redução de *downtime*
Otimização inteligente	Camada analítica que suporta previsão, simulação e melhoria contínua	Modelos preditivos e deteção de desvios; Simulação de cenários operacionais	Redução de OPEX e consumo energético; Aumento da fiabilidade; Suporte a metas de sustentabilidade

4.1 Caracterização do projeto

O piloto foi desenvolvido entre dezembro de 2024 e novembro de 2025, com o objetivo de validar, em contexto real de operação, a integração entre modelo BIM e sistemas operacionais, e quantificar os benefícios na monitorização de desempenho, na manutenção preditiva e na eficiência energética. A implementação incluiu (i) a integração de sensores e sistemas existentes, (ii) o carregamento validado de dados laboratoriais, (iii) o desenvolvimento de interfaces de visualização orientadas à operação e (iv) a capacitação da equipa local para utilização da plataforma. A Figura 3 apresenta o cronograma do projeto.

Do ponto de vista da maturidade digital, o projeto iniciou-se com a consolidação de um modelo BIM estruturado, correspondente ao nível de "Gémeo de Informação". O modelo foi desenvolvido com LOD 200 e LOI 1, assegurando a representação espacial do ativo e a identificação sistematizada dos seus principais componentes e sistemas (Figura 4). Esta escolha pressupõe um compromisso entre o nível de detalhe do modelo e respetiva informação e a performance na visualização do mesmo na plataforma web desenvolvida. Um desenho distinto de arquitetura da plataforma Q. BIMConnect poderia permitir maiores níveis de LOD e LOI com base noutros compromissos. Numa fase subsequente, procedeu-se à evolução para um "Gémeo de Ligação Operacional", através da integração de fluxos de dados em tempo real provenientes do sistema SCADA e de registos laboratoriais, introduzindo uma dimensão dinâmica ao modelo informacional (Figuras 5).

Durante o período de monitorização foram integrados 62 pontos de dados, com histórico contínuo aproximado de cinco meses. Este processo resultou na recolha de mais de 13 milhões de registos em tempo real e cerca de 2 milhões de registos laboratoriais, configurando uma base de dados suficientemente extensa para suportar análises técnicas de desempenho operacional e energético.



Figura 3: Cronograma do projeto piloto na ETAR de Valongo.

A metodologia de análise incidiu sobre parâmetros críticos do processo biológico, incluindo concentração de sólidos suspensos, razão de recirculação e oxigénio dissolvido, bem como sobre o desempenho energético dos sistemas de bombagem e arejamento. Os dados foram tratados com resolução temporal de 30 segundos para variáveis de potência e caudal e de cinco minutos para oxigénio dissolvido, permitindo uma análise detalhada do comportamento operacional e a identificação de padrões, desvios e oportunidades de otimização.

4.2 Discussão de resultados

A implementação do gémeo digital na ETAR permitiu converter indicadores operacionais, como carga hidráulica, número de arranques e razão de recirculação, em métricas económicas mensais quantificáveis. Esta capacidade de traduzir desempenho técnico em impacto financeiro revelou-se determinante para suporte à decisão estratégica. Os resultados obtidos podem ser organizados em duas dimensões principais: (i) verificação de conformidade operacional e (ii) identificação de oportunidades concretas de melhoria.

No que respeita à verificação de conformidade, o efluente tratado manteve-se dentro dos limites estabelecidos na licença de descarga ao longo dos cinco meses analisados, evidenciando estabilidade global do processo. A concentração de sólidos suspensos no reator biológico (MS) apresentou valores superiores aos previstos em projeto, enquanto o índice volumétrico de lamas (IVL) se manteve dentro da gama considerada normal (≈133 mL/g), ainda que com valores de V30 elevados. A carga mássica (F/M) situou-se no limite superior do intervalo de projeto e a idade de lamas (θ) manteve-se conforme especificado, confirmando a estabilidade estrutural do processo biológico.



Figura 4: Interface da plataforma com o modelo digital da ETAR. Na imagem da direita observa-se a árvore IFC com a documentação e series de dados associados a cada nó, bem como a identificação dos equipamentos monitorizados (bombas) no modelo 3D.



Figura 5: *Dashboard* de análise da operação na componente da 'qualidade da água.'

Paralelamente, a análise permitiu identificar oportunidades de otimização com impacto económico direto. Na estação elevatória de Sobrado, a carga hidráulica efetiva estimada foi de aproximadamente 30 m, face aos 15 m previstos em projeto, apontando para um potencial de poupança energética na ordem dos 1 500 €/mês. Situação semelhante foi observada no tanque de homogeneizado, onde a carga efetiva (~25 m) excede os valores de projeto (10–15 m), correspondendo a uma poupança mínima estimada de 1 370 €/mês. Adicionalmente, registaram-se até nove arranques por hora nas bombas, o que, para além do impacto energético, representa desgaste acelerado dos equipamentos (Figura 6), com custo estimado de cerca de 1 100 €/mês associado à redução da vida útil. Finalmente, a razão média de recirculação de lamas foi de aproximadamente 140%, significativamente superior aos 82% previstos em projeto, implicando um excedente de consumo energético estimado na ordem dos 40%.

Em conjunto, estes resultados demonstram que, embora o sistema opere em conformidade regulamentar, subsistem margens relevantes de otimização energética e operacional, passíveis de quantificação económica e de implementação faseada. As deficiências identificadas na operação foram objeto de propostas de melhoria por parte da equipa técnica, incidindo em particular sobre os temas apresentados na Tabela 2.

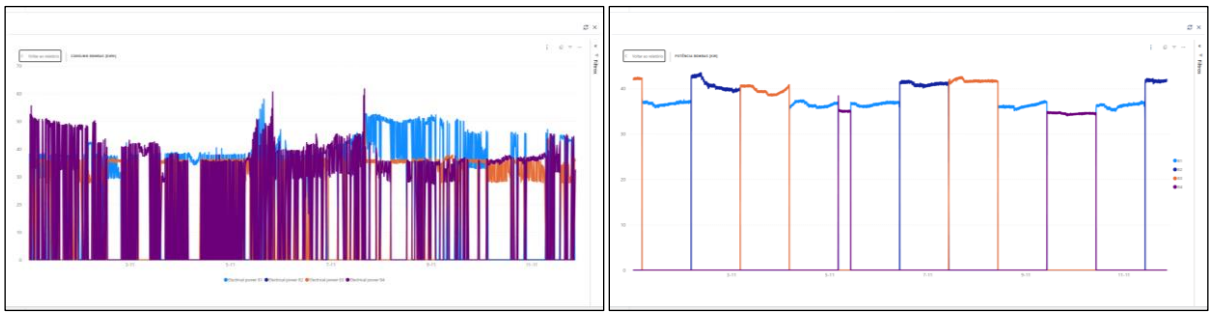


Figura 6: Gráficos de análise do consumo e potência das bombas.

O total de ganhos estimado na fase piloto com melhorias propostas é de ≈ 3 970 €/mês. Com a implementação alargada e integração de 23 novos pontos críticos, estima-se um benefício total entre 6 310 e 8 450 €/mês.

Tabela 2: Propostas de melhoria operacional apresentadas em resposta aos temas identificados

Tema	**Proposta de Melhoria**
Revisão das condições	Inspecionar válvulas, eliminar singularidades desnecessárias, alinhar a carga com o projeto nas linhas de Sobrado e homogeneizado. Efeito esperado: redução de carga e de consumo.
Calibração das sondas	Verificar sondas, caudal de ar e lógica de arejamento para manter o Oxigénio Dissolvido (OD) no valor de referência. Efeito esperado: estabilidade do processo e < energia em arejamento.
Equalização das bombas	Regras de rotação, limites de arranques por hora e tempos mínimos ligados. Efeito esperado: menor desgaste e menor custo de ciclo.
Validação da metrologia	Confirmar caudalímetros de recirculação e de excesso, ajustar *setpoint* de R de forma gradual. Efeito esperado: manutenção da biomassa com menor consumo.
Consolidação do histórico	*Checklist* diária de dados, reconciliação com laboratório e revisão semanal de anomalias. Efeito esperado: decisões com base em dados fiáveis.

4.3 Desafios e limitações identificados

Durante o desenvolvimento do piloto foram identificadas limitações técnicas e operacionais que condicionaram parcialmente o alcance das análises realizadas. Estas limitações, sintetizadas na Tabela 3, permitiram não só enquadrar os resultados obtidos, como também fundamentar a definição de medidas de mitigação para a fase de implementação alargada.

A cobertura parcial de pontos monitorizados limitou a análise detalhada de alguns subsistemas, evidenciando a necessidade de um plano estruturado de instrumentação com priorização de pontos críticos. A arquitetura de ingestão, dimensionada para o piloto, revelou margem limitada para expansão, reforçando a importância de escalar a capacidade de retenção e processamento de dados numa fase subsequente.

A metrologia incompleta na recirculação de lamas e a necessidade de calibração das sondas de OD condicionaram a granularidade e fiabilidade de algumas análises energéticas. Entre as limitações, as incidências no *gateway* do cliente tiveram maior impacto, resultando na perda estimada de cerca de 1,9 milhões de registos e em descontinuidades no histórico. Estas ocorrências demonstram que a robustez do gémeo digital depende não apenas da modelação e analítica, mas também da qualidade da instrumentação, conectividade e governação de dados.

Tabela 3: Limitações encontradas no piloto, impactos e medidas de mitigação futuras

Limitação	**Impacto**	**Mitigação na Implementação Alargada**
Cobertura parcial de pontos	Histórico e análises limitados em alguns sistemas.	Plano de instrumentação, lista fechada de pontos críticos, priorização por impacto.
Incidências no gateway	Falhas de envio na origem, descontinuidade do histórico.	Monitorização ativa da conectividade, alertas, janela de retentativa e acordo de serviço com metas de disponibilidade.
Ingestão dimensi. para piloto	Capacidade definida para o âmbito do piloto, menor margem para expansão.	Escalar ingestão e retenção, compressão por série e partição temporal.
Metrologia incompleta	Sem medição elétrica individual por bomba, análise por grupo.	Medidores por bomba ou estimativa validada, amostragem dedicada.
Calibração de OD a validar	Valores médios abaixo do alvo e sinais pouco coerentes com potência.	Programa de calibração de sondas, verificação de caudal de ar e revisão de lógica de comando.

5. Conclusão

Partindo da premissa de que a descontinuidade entre modelos BIM e sistemas operacionais limita o potencial de criação de valor na fase de operação, este artigo teve como objetivo avaliar a viabilidade e o impacto da integração BIM–Operação através de um projeto piloto numa infraestrutura hidráulica. O caso de estudo na ETAR de Campo-Valongo evidencia que:

- A integração BIM–Operação é tecnicamente viável em contexto real;
- O valor de um gémeo digital ultrapassa a mera integração visual entre modelo BIM e dados operacionais para uma visualização contextualizada da informação;
- Com boa governação de dados, a abordagem analítica permite ganhos energéticos;
- A preparação organizacional é chave para a confiabilidade e rastreabilidade do processo;
- A estruturação de um histórico operacional fiável para alimentar a analítica (identificação de padrões, desvios face ao projeto e oportunidades de otimização) é um fator crítico de sucesso para gerar valor económico e sustentável;
- A interoperabilidade OpenBIM assegura independência tecnológica e escalabilidade para contextos multiativo com sistemas heterogéneos;

Conclui-se, assim, que a transição de BIM para gémeos digitais, quando suportada por arquitetura interoperável, dados fiáveis e metodologia estruturada, pode gerar ganhos operacionais consideráveis na fase de operação. Como trabalho futuro, propõe-se: (i) a validação da escalabilidade e replicabilidade da solução através da aplicação a outras tipologias de infraestruturas, (ii) a expansão da metodologia de forma a incluir capacidade preditiva ou otimização automática, (iii) e, de forma a aumentar a confiabilidade do sistema, o estudo de mecanismos de redundância de comunicação e a inclusão de estratégias de governação de dados e qualidade metrológica como pré-requisito.

Referências

[1] C. M. Eastman, P. Teicholz, R. Sacks, and K. Liston, *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors*, 2nd ed. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, 2011.

[2] ISO, ISO 15686-5:2017 *Buildings and constructed assets — Service life planning — Part 5: Life-cycle costing. Geneva*, Switzerland: International Organization for Standardization, 2017.

[3] B. Becerik-Gerber, F. Jazizadeh, N. Li, and G. Calis, "Application areas and data requirements for BIM-enabled facilities management," *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 138, no. 3, pp. 431–442, 2012. doi: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000433.

[4] R. Volk, J. Stengel, and F. Schultmann, "Building Information Modeling (BIM) for existing buildings — Literature review and future needs," *Automation in Construction*, vol. 38, pp. 109–127, 2014. doi: 10.1016/j.autcon.2013.10.023.

[5] C. Boje, A. Guerriero, S. Kubicki, and Y. Rezgui, "Towards a semantic Construction Digital Twin: Directions for future research," *Automation in Construction*, vol. 114, 103179, 2020. doi: 10.1016/j.autcon.2020.103179

[6] ISO, ISO 19650-1:2018 *Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) — Information management using building information modelling — Part 1: Concepts and principles*. Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization, 2018.

[7] ISO, ISO 16739-1:2018 *Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing in the construction and facility management industries — Part 1: Data schema*. Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization, 2018.

[8] B. Succar, W. Sher, and A. Williams, "Measuring BIM performance: Five metrics," *Architectural Engineering and Design Management*, vol. 8, no. 2, pp. 120–142, 2012. doi: 10.1080/17452007.2012.659506.

[9] R. Sacks, I. Brilakis, E. Pikas, H. S. Xie, and M. Girolami, "Construction with digital twin information systems," *Data-Centric Engineering*, vol. 1, e14, 2020. doi: 10.1017/dce.2020.16

[10] M. Grieves and J. Vickers, "Digital Twin: Mitigating Unpredictable, Undesirable Emergent Behavior in Complex Systems," in *Transdisciplinary Perspectives on Complex Systems*, F.-J. Kahlen, S. Flumerfelt, and A. Alves, Eds. Cham, Switzerland: Springer, 2017, pp. 85–113. doi: 10.1007/978-3-319-38756-7_4.

[11] F. Tao, Q. Qi, L. Wang, and A. Y. C. Nee, "Digital Twins and Cyber–Physical Systems toward smart manufacturing and Industry 4.0: Correlation and comparison," *Engineering*, vol. 5, no. 4, pp. 653–661, 2019. doi: 10.1016/j.eng.2019.01.014.

[12] X. Lu, C. Wu, Z. Wang, L. Zhang, and R. Xue, "A literature review of digital twin in construction industry," *Journal of Building Engineering*, vol. 43, 103–118, 2021. doi: 10.1016/j.jobe.2021.103–118.

[13] Quadrante Global, "*Digital (Q. BIMConnect) — Integrated digital solutions for asset lifecycle*," *Quadrante Digital*. [Online]. Available: https://quadranteglobal.com/en/digital/ (accessed Feb. 20, 2026).

12345

POTENCIALIZANDO A ANÁLISE DE PROJETOS COM REALIDADE VIRTUAL: REPLICABILIDADE ALÉM DE UMA ÚNICA PLATAFORMA

Luiz Otávio Martins Souza

ptBIM

POTENCIALIZANDO A ANÁLISE DE PROJETOS COM REALIDADE VIRTUAL: REPLICABILIDADE ALÉM DE UMA ÚNICA PLATAFORMA

Luiz Otávio Martins Souza[1]

Strata Engenharia, Belo Horizonte, luiz.souza@strata.com.br

Resumo
A complexidade crescente em projetos AEC exige métodos de visualização que superem as limitações 2D e 3D convencionais. A Realidade Virtual (VR) surge como promissora para a revisão de projetos BIM, oferecendo imersão em escala real, maior percepção espacial e interação colaborativa [1] [2]. Este artigo propõe uma metodologia para avaliar o uso da VR na análise de projetos complexos, focando na replicabilidade entre plataformas. Um estudo de caso no projeto do Trevo do BH Shopping comparou a detecção de problemas em desktop (Autodesk Navisworks) e VR (Autodesk Workshop XR). Os resultados mostraram que a análise imersiva em VR identificou 20% a 30% mais problemas que a abordagem convencional, destacando o valor da percepção espacial humana. A principal contribuição é a sistematização de um quadro analítico para futuros estudos, enfatizando que os benefícios da VR vêm da imersão, colaboração e integração informacional, e não da ferramenta específica [1] [3] [4] [5].

1. Introdução

O setor AEC enfrenta desafios na coordenação de projetos complexos, especialmente em infraestrutura, onde a revisão por plantas 2D e visualizadores desktop pode ser insuficiente para comunicar relações espaciais complexas. Embora o BIM tenha avançado na gestão da informação, a interpretação espacial de modelos complexos ainda é um obstáculo. A Realidade Virtual (VR) surge como solução, permitindo que todos os envolvidos experimentem o ambiente projetado em escala real, facilitando a identificação antecipada de incompatibilidades e melhorando a comunicação [1] [2]. A literatura destaca benefícios da integração BIM-VR, como melhor percepção espacial, engajamento e redução de retrabalho, com relatos de economias significativas [1] [2] [3]. No entanto, há uma lacuna na avaliação comparativa entre diferentes plataformas de VR para BIM. Este artigo propõe uma metodologia para avaliar o uso da VR na análise de projetos BIM, focando na replicabilidade do método para sustentar estudos comparativos entre diversas soluções existentes no mercado [3] [4] [5].

2. Revisão da literatura

A integração entre BIM e Realidade Virtual (VR) aprimora a compreensão espacial e a coordenação de projetos complexos. Johansson e Roupé [1] afirmam que aplicações imersivas conectadas a fluxos digitais da construção melhoram a comunicação e a identificação de problemas em fases iniciais, o que é crucial para geometrias complexas e interfaces multidisciplinares. Shehadeh et al. [2] complementam que essa integração promove maior participação de stakeholders e consciência espacial, sendo valiosa para a mediação entre informações técnicas e compreensão não especializada, mesmo em contextos de sustentabilidade e resiliência urbana. Relatos de mercado, como o da Resolve para a Fortis Construction [3], indicam que revisões em VR previnem retrabalhos e reduzem custos significativos, evidenciando seu valor operacional. Contudo, a literatura e fornecedores mostram que diversas plataformas de VR para BIM (Autodesk Workshop XR, Resolve, The Wild, Enscape) [3] [4] [5] oferecem funcionalidades distintas. Portanto, é mais eficaz focar nas capacidades necessárias para a revisão imersiva do que associar os benefícios a uma única ferramenta.

3. Delimitação e contribuição do estudo

Este artigo não apresenta um experimento concluído com resultados estatísticos consolidados. Sua contribuição reside na formulação de um protocolo metodológico exploratório capaz de orientar aplicações futuras em contexto real de projeto. Tal reposicionamento é importante para evitar que expectativas prospectivas sejam apresentadas como evidências empíricas já obtidas. Em consequência, o texto passa a assumir explicitamente o caráter de artigo propositivo, orientado à estruturação de um desenho de pesquisa e de implantação organizacional.
A proposta metodológica foi concebida para situações em que uma organização deseje comparar, de forma controlada, a revisão de projeto por métodos convencionais e a revisão assistida por VR. O protocolo pode ser aplicado em projetos de edificações ou infraestrutura, desde que exista modelo BIM navegável, equipe multidisciplinar definida e procedimento de registro de issues associado ao ambiente comum de dados.

4. Proposta metodológica de avaliação

A avaliação proposta parte da comparação entre duas abordagens de revisão: uma abordagem convencional em ambiente desktop e uma abordagem imersiva em VR. O objetivo não é apenas contabilizar problemas identificados, mas compreender diferenças de qualidade analítica, comunicação, tempo de decisão e impacto potencial na prevenção de retrabalho.

4.1 Desenho geral do produto

Para a análise, deve-se selecionar um modelo BIM com complexidade espacial relevante (ex: interseções viárias). O mesmo escopo será submetido a duas metodologias: A (desktop com software BIM) e B (VR com participação síncrona). As equipes de revisão devem ter composição equivalente em função e experiência (projetistas, coordenadores, etc.). É crucial

detalhar o número de participantes, categorias profissionais, experiência com BIM e VR, e tipo de projeto para garantir a interpretação e reprodutibilidade dos resultados.

4.2 Métricas de avaliação

A Tabela 1 apresenta um conjunto de métricas que permite avaliar não apenas quantidade, mas também relevância e operacionalidade dos problemas detectados.

Tabela 1 – Métricas de Avaliação de Desempenho

Categoria	Métrica	Descrição	Unidade de medida	Aplicação prática no piloto
Eficiência	Tempo de detecção de issues	Tempo médio necessário para identificar e registrar cada problema	Minutos/issue	Cronometrar do início da análise até o registro válido no sistema
Eficiência	Número total de issues válidos	Quantidade total de problemas confirmados após consolidação e eliminação de duplicidades	Número	Contabilizar issues aceitos pela coordenação após revisão final
Qualidade técnica	Severidade dos issues	Classificação dos problemas segundo impacto em custo, prazo, segurança ou operação	Baixo/Médio/ Alto/Crítico	Classificar cada issue a partir de critérios previamente definidos
Qualidade técnica	Taxa de falsos positivos	Percentual de registros que não se confirmam como problema real	%	Dividir issues descartados pelo total de issues inicialmente reportados
Colaboração	Qualidade da comunicação	Clareza, objetividade e capacidade de entendimento comum durante a revisão	Escala (1–5)	Aplicar questionário pós-sessão aos participantes
Experiência do usuário	Nível de engajamento	Percepção de envolvimento, atenção e imersão na atividade	Escala (1–5)	Aplicar questionário pós-sessão e consolidar média por grupo
Impacto econômico	Custo evitado estimado	Estimativa de retrabalho evitado pela detecção antecipada dos problemas	Moeda	Associar cada issue validado a uma faixa de custo ou orçamento corretivo estimado

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

A métrica de custo evitado estimado requer tratamento particularmente rigoroso. Para reduzir subjetividades, recomenda-se que cada problema validado seja associado a uma classe de impacto econômico previamente definida pela organização, com base em histórico de obra, orçamento de referência ou consulta a especialistas. Uma alternativa prática consiste em estabelecer faixas de custo corretivo, como intervenção simples, retrabalho moderado e retrabalho crítico, atribuindo valores médios a cada classe. O artigo final deve explicitar qual critério foi adotado.

4.3 Estudo de caso: Trevo do BH Shopping

A aplicação prática da metodologia proposta foi realizada através de um projeto piloto conduzido pela Strata Engenharia, focado na fiscalização e execução das obras de um trevo rodoviário estratégico em Belo Horizonte, Minas Gerais, conhecido como "Trevo do BH Shopping". O empreendimento visa a melhoria do fluxo de veículos em um dos pontos de maior saturação da capital mineira, na interseção da rodovia BR-356 com a MG-030. O escopo da obra compreende o alargamento de viadutos, a adequação de alças de acesso e a implantação de uma terceira faixa de rolamento.

Originalmente desenvolvido em metodologia tradicional (2D), o projeto foi transposto para modelos BIM para fins de validação, fiscalização e prevenção de divergências durante a execução. Dada a relevância estratégica da obra para a infraestrutura urbana local, o caso foi selecionado para testar a eficácia da Realidade Virtual (VR) em comparação aos métodos convencionais de análise em desktop.

4.3.1 Consistência Metodológica

A análise de consistência de modelos BIM compara procedimentos em ambiente desktop e imersão em Realidade Virtual (VR). Inicialmente, o modelo passa por análise automatizada no Autodesk Navisworks para detecção de interferências e verificação de propriedades. Em seguida, é explorado imersivamente no Autodesk Workshop XR, onde coordenadores identificam problemas (ergonomia, visibilidade, montagem) não detectáveis automaticamente. A análise imersiva revelou 20% a 30% mais problemas, destacando a importância da percepção espacial humana. As variáveis do estudo focam em conflitos físicos e checagem de propriedades, com problemas classificados por severidade (Baixo, Médio, Alto, Crítico) para priorização. Um ponto crucial é a identificação de falsos positivos, onde a validação ocorre no ambiente virtual com a percepção do profissional, garantindo maior precisão. Os problemas são reanalisados em um Ambiente Comum de Dados (CDE) para verificar soluções e manter a rastreabilidade das modificações.



Figura 1 - Modelo Ambiente Comum de Dados

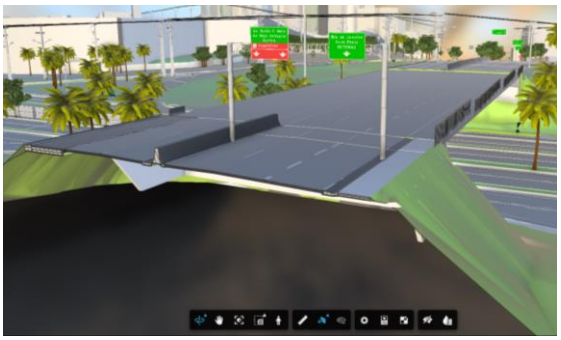


Figura 2 - Seção Modelo Ambiente Comum de Dados

AUTODESK NAVISWORKS

Clash Report

Sinalização x Pavimentação	Tolerance	Clashes	New	Active	Reviewed	Approved	Resolved	Type	Status
	0.001m	13	13	0	0	0	0	Hard	OK

						Item 1				Item 2				
Image	Clash Name	Status	Distance	Date Found	Clash Point	Item ID	Layer	Item Name	Item Type	Item ID	Layer	Item Name	Item Type	Comments
	Clash1	New	-0.225	2026/4/24 11:39	x:610147.777, y:7791243.597, z:1101.621	*Entity Handle*: 35102D	sinC_VERTICAL_BIM	COL_2	3D Solid	*Entity Handle*: D23	PasseioConcreto	PasseioConcreto	3D Solid	
	Clash2	New	-0.119	2026/4/24 11:39	x:610126.066, y:7791245.762, z:1100.082	*Entity Handle*: 37AD72	sinC_VERTICAL_BIM	HBP_5.5	3D Solid	*Entity Handle*: D23	PasseioConcreto	PasseioConcreto	3D Solid	
	Clash3	New	-0.102	2026/4/24 11:39	x:610277.478, y:7791244.380, z:1108.825	*Entity Handle*: 37CA47	sinC_VERTICAL_BIM	Semi Pórtico Simples_5.5_SVS$3D	3D Solid	*Entity Handle*: 4CA	PasseioConcreto	PasseioConcreto	3D Solid	

Figura 3 - Issue modelo desktop



Figura 4 - Visão VR modelo Imersivo



Figura 5 - Informações ambiente VR



Figura 6 - Óculos Meta Quest 3

Tabela 2: Resultados Obtidos

Valor	Tempo de detecção issues (min)	Total de issues válidas (un.)	Severidade dos issues (un.)	Taxa de falsos positivos (%)	Qualidade da comunicação (%)	Nível de engajamento (%)	Custo evitado estimado (%)
0 a 100	5	15	3	5	100	90	30

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

4.3.2 Participantes e Configuração do estudo

O estudo contou com a participação de uma equipe multidisciplinar, composta por profissionais e estagiários da Strata Engenharia, com perfis técnicos específicos para a análise do projeto. A equipe foi distribuída da seguinte forma:

- 1 BIM Manager/Coordenador
- 1 Engenheiro de Geometria/Terraplenagem
- 1 Estagiário de Geometria/Terraplenagem
- 1 Engenheiro de Sinalização
- 1 Engenheiro de Geoprocessamento
- 1 Estagiário de Geoprocessamento

As sessões de revisão tiveram uma duração total de 30 dias. A primeira semana foi dedicada à análise dos projetos fornecidos, seguida pela modelagem e federação dos elementos, e uma avaliação inicial das incompatibilidades em ambiente desktop. As semanas subsequentes foram focadas no uso da Realidade Virtual para a identificação de itens não rastreados automaticamente, checagem de falsos positivos e a criação de um relatório de diagnóstico da fiscalização virtual.

Em relação à forma de cálculo do custo evitado estimado, não foi possível realizar uma estimativa precisa neste estudo de caso. A maioria dos itens identificados referia-se a remanejamentos que, em um cenário tradicional, seriam provavelmente executados durante a fase de obra, sem um registro formal de custo evitado na etapa de projeto. Contudo, a detecção precoce desses itens, mesmo sem quantificação monetária direta, contribui para a otimização do planejamento e a redução de retrabalhos em campo.

4.4 Instrumentos complementares

Além das métricas quantitativas, recomenda-se a realização de entrevistas semiestruturadas ou questionários abertos ao final das sessões. Esses instrumentos podem captar aspectos que nem sempre se manifestam em indicadores numéricos, como facilidade de navegação, clareza da interface, fadiga do usuário, confiança na decisão tomada e adequação da plataforma à rotina da equipe.

A validação preliminar das métricas também pode ser feita por meio de um estudo piloto reduzido, com um subconjunto do modelo e uma equipe menor. Esse piloto serve para ajustar critérios de severidade, tempo de observação, escalas de questionário e procedimento de registro de issues antes da aplicação principal.

5. Aplicação prática: Estrutura mínima a ser reportada

Considerando a aplicação prática da metodologia apresentada, que incluiu o estudo de caso do Trevo do BH Shopping, torna-se essencial descrever de forma objetiva o contexto dessa aplicação. A Tabela 2 sintetiza os elementos mínimos que devem constar na versão final para reportar o caso prático realizado.

Tabela 3 – Elementos Mínimos

Elemento a reportar	Informação mínima necessária	Exemplo de redação a ser adaptado pelo autor
Tipo de projeto	Natureza do empreendimento, fase e nível de desenvolvimento do modelo	"O estudo foi realizado em um projeto de interseção viária urbana em fase de compatibilização executiva."
Modelo analisado	Disciplinas incluídas, volume aproximado e origem do modelo	"O modelo integrou geometria viária, drenagem, estruturas e elementos de sinalização."
Participantes	Quantidade, perfis profissionais e experiência prévia	"Participaram 8 profissionais: 3 projetistas, 2 coordenadores BIM, 2 engenheiros de obra e 1 representante do cliente."
Configuração da sessão	Duração, ambiente, hardware e software	"Cada sessão teve 90 minutos, com uso de headset Meta Quest e plataforma de VR integrada ao CDE."
Registro de issues	Forma de documentação e validação	"Os issues foram consolidados em ambiente comum de dados e validados por coordenação interdisciplinar."
Resultados	Métricas comparativas entre desktop e VR	"A revisão em VR identificou maior número de issues críticos e reduziu o tempo médio por issue."
Evidências visuais	Figuras do modelo, capturas do ambiente imersivo e exemplos de issues	"A Figura X apresenta a sessão imersiva e a Figura Y ilustra issue detectado em escala real."

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

6. Plataformas e replicabilidade dos resultados

A replicabilidade dos benefícios da VR depende menos do nome comercial da ferramenta e mais da presença de capacidades fundamentais, como navegação imersiva em escala real, colaboração síncrona, acesso a modelos atualizados e registro estruturado de issues. Nesse sentido, diferentes plataformas podem sustentar resultados semelhantes, desde que ofereçam tais capacidades em nível compatível com o objetivo da revisão.

A Tabela 3 apresenta um comparativo sintético entre plataformas frequentemente mencionadas em fluxos BIM/VDC. O quadro não constitui benchmark técnico exaustivo, mas organiza atributos relevantes para seleção e replicabilidade metodológica.

Tabela 4 – Comparativo plataformas

Plataforma	**Foco principal**	**Integrações declaradas**	**Colaboração em tempo real**	**Observações sobre licenciamento e posicionamento**
Autodesk Workshop XR	Revisão imersiva de projeto em XR/VR	Ecossistema Autodesk, com destaque para Autodesk Forma e fluxos Autodesk	Sim	Posicionada oficialmente para design reviews; página pública indica preço inicial a partir de US$ 95 [5]
Resolve	Revisão colaborativa de modelos grandes e gestão de ativos/projetos	Integração com Autodesk Construction Cloud	Sim	Licenciamento informado por usuário ou por tamanho do projeto; comunicação destaca processamento de modelos extensos em dispositivos VR [3]
The Wild	Colaboração imersiva, apresentação e ideação	Revit, SketchUp e fluxos de colaboração para equipes de building industry	Sim	Forte ênfase em revisão remota, comunicação espacial e tomada de decisão colaborativa [4]
Enscape	Visualização em tempo real, apresentação e apoio à comunicação de projeto	Integração com ferramentas de autoria de projeto; destaque comercial para fluxo em tempo real	Parcial/variável conforme fluxo adotado	Disponibiliza planos mensais, anuais e trienais, com licenças named e floating; maior vocação para visualização e apresentação [6]

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Esse comparativo mostra que a seleção de plataforma deve considerar, pelo menos, quatro dimensões. A primeira é o ecossistema digital já adotado pela organização, pois integrações nativas tendem a reduzir fricções operacionais. A segunda é a natureza da revisão, uma vez que há plataformas mais orientadas à coordenação colaborativa e outras mais voltadas à comunicação visual e apresentação. A terceira é a escala e complexidade do modelo, especialmente quando se trata de infraestrutura ou projetos com geometria intensiva. A quarta é o modelo de licenciamento, aspecto importante para viabilidade de pilotos e escalonamento institucional.

7. Fatores organizacionais de adoção

A adoção de VR em fluxos de revisão de projetos não depende apenas da disponibilidade tecnológica. Para que a prática produza benefícios consistentes, é necessário considerar fatores organizacionais relacionados à maturidade BIM da empresa, à capacitação dos usuários, à governança de dados e à institucionalização do processo de registro e tratamento de issues.
Em primeiro lugar, a curva de aprendizagem deve ser reconhecida como componente do processo de implantação. Usuários sem familiaridade com ambientes imersivos podem demandar sessões introdutórias antes de participar de uma avaliação comparativa. Em segundo lugar, a organização precisa definir claramente quando a revisão em VR será acionada, quem participa, como os problemas são validados e para onde os registros são encaminhados após a sessão.
Adicionalmente, a qualidade do modelo BIM condiciona diretamente a utilidade da experiência imersiva. Modelos incompletos, desatualizados ou mal estruturados reduzem a confiança na revisão e podem comprometer tanto a eficácia analítica quanto a aceitação da tecnologia. Assim, a VR deve ser compreendida como camada de apoio à decisão dentro de um ecossistema digital mais amplo, e não como solução autônoma desconectada da qualidade da informação do projeto.

8. Discussão

A proposta metodológica apresentada permite enquadrar de modo mais rigoroso o debate sobre VR na revisão de projetos. Em vez de assumir ganhos genéricos, o protocolo orienta a transformação de percepções de valor em critérios observáveis, mensuráveis e comparáveis. Isso é especialmente importante em artigos técnicos submetidos a eventos científicos, nos quais a clareza metodológica é condição para a credibilidade dos argumentos.
Também se verifica que a discussão sobre replicabilidade precisa distinguir dois níveis analíticos. O primeiro nível diz respeito à replicabilidade tecnológica, isto é, à possibilidade de diferentes plataformas oferecerem capacidades análogas de imersão, navegação e colaboração. O segundo nível refere-se à replicabilidade metodológica, que depende da consistência com que o estudo define participantes, variáveis, critérios de validação e forma de documentação dos resultados. Um artigo que deseja sustentar a generalização de benefícios precisa tratar os dois níveis de forma explícita.
Por fim, permanece evidente que, para atender plenamente exigências de robustez empírica, a aplicação do protocolo em estudo real é etapa desejável. Quando tais dados ainda não estiverem disponíveis, o artigo deve assumir sem ambiguidade seu caráter exploratório e propositivo. Essa opção é metodologicamente mais consistente do que apresentar resultados esperados como se fossem resultados obtidos.

9. Conclusão

A Realidade Virtual (VR) oferece um potencial significativo para a análise de projetos no setor AEC, especialmente onde a compreensão espacial, coordenação interdisciplinar e comunicação são cruciais. A literatura e o mercado indicam que a imersão em escala real pode antecipar

problemas, aumentar o engajamento e otimizar decisões [1] [2] [3]. Para validar esses benefícios cientificamente, é essencial avaliar, comparar e documentar rigorosamente. Este artigo propõe um protocolo metodológico exploratório para comparar revisões tradicionais e assistidas por VR, estabelecendo critérios de replicabilidade entre plataformas. Conclui-se que o valor da VR na revisão de projetos reside na combinação de imersão, colaboração e integração informacional, e não em uma ferramenta específica. A consolidação deste argumento requer estudos de caso detalhados para fortalecer a maturidade científica e aplicada do tema.

Referências

[1] JOHANSSON, M.; ROUPÉ, M. Real-world applications of BIM and immersive VR in construction. Automation in Construction, v. 158, p. 105233, 2024.
[2] SHEHADEH, A. et al. Advanced integration of BIM and VR in the built environment: Enhancing sustainability and resilience in urban development. Heliyon, v. 11, n. 4, p. e42558, 2025.
[3] SAY, A. How Fortis Construction saved $3 million in 3 months with VR BIM reviews. Resolve Blog, 9 jan. 2024. Disponível em: https://blog.resolvebim.com/how-fortis-construction-saved-3-million-in-3-months-with-vr-bim-reviews/. Acesso em: 10 dez. 2025.
[4] THE WILD. The Wild – VR Collaboration for Architecture & Design Teams. Disponível em: https://thewild.com/. Acesso em: 15 abr. 2026.
[5] AUTODESK. Autodesk Workshop XR | AEC Design Reviews in VR. Disponível em: https://www.autodesk.com/products/workshop-xr/overview. Acesso em: 15 abr. 2026.
[6] CHAOS. Chaos Enscape pricing & plans — buy online. Disponível em: https://www.chaos.com/enscape/buy-online. Acesso em: 15 abr. 2026.

12345

FROM BIM TO INTERACTIVE DIGITAL TWIN: A WORKFLOW FOR INTEGRATING VIRTUAL AND PHYSICAL ENVIRONMENTS

Mujahed Mohammad Khalil Bani Mustafa, Manuel Afonso Parente, Tomo Cerovsek

ptBIM

FROM BIM TO INTERACTIVE DIGITAL TWIN: A WORKFLOW FOR INTEGRATING VIRTUAL AND PHYSICAL ENVIRONMENTS

Mujahed Mohammad Khalil Bani Mustafa[(1)], Manuel Afonso Parente[(2)], Tomo Cerovsek[(1)]

(1) University of Ljubljana, Faculty of Civil and Geodetic Engineering, Slovenia
(2) University of Minho, ISISE, ARISE, Department of Civil Engineering, Guimarães, Portugal

Abstract

The fragmentation among Building Information Models (BIM), IoT sensor networks, and facility management interfaces severely limits the operational value of digital construction investments. The architecture, engineering, and construction (AEC) sector requires practical workflows that extend the use of BIM beyond design and construction into facility operations. This paper presents a validated open-source methodology for transforming static IFC models into interactive augmented virtual reality (VR) digital twins using Unreal Engine 5.5. The approach has been implemented through a 4-level university building case study.

The proposed system combines IFC building geometry with real-time HOBO sensor data (temperature, humidity, and CO2) using a three-tier navigation architecture that bridges 2D floor plans and 3D spatial exploration. Using Datasmith for model processing and Blueprint visual scripting for interaction logic, the workflow supports both desktop and VR deployment modes without requiring programming expertise. Performance validation demonstrates sub-100 ms response times for all interactions, teleportation for predefined spaces, and consistent 120 FPS desktop/90-120 FPS VR operation while processing live sensor streams.

The multi-modal interface design enables progressive complexity adoption, allowing facility managers to transition from familiar 2D interfaces to immersive 3D environments at their own pace. This democratized approach uses freely available tools to make digital twin technology accessible to educational institutions and small-to-medium enterprises previously excluded by proprietary platform costs. The validated workflow directly provides practical implementation patterns for BIM-to-digital-twin transformation. This solution serves AEC researchers and academic institutions seeking an open, extensible framework for experimental digital twin development, immersive visualization research, and real-time BIM–IoT integration studies without reliance on proprietary platforms.

1. Introduction

The digital transformation of the Architecture, Engineering, and Construction (AEC) industry has generated substantial investment in Building Information Modeling, yet a persistent fragmentation exists between static BIM models, real-time sensor data, and facility management interfaces. Deng et al. [1] propose a five-level taxonomy mapping the evolution from traditional BIM to ideal digital twins, demonstrating that most current implementations remain at early development stages (Levels 2–3), where sensor connectivity and simulation capabilities are still being explored.

This gap also has a particular relevance for Portugal's digital construction transition. Decreto-Lei 10/2024 [2] establishes mandatory BIM adoption milestones, with PEPU (Plataforma Eletrónica para os Procedimentos Urbanísticos) requirements effective from January 2026 and full BIM submission format mandated by 2030. As Portuguese organizations prepare for compliance, the availability of cost-effective digital twin solutions becomes critical, particularly for educational institutions and small-to-medium enterprises that cannot absorb the licensing costs of commercial platforms such as Autodesk Tandem or Bentley iTwin.

Current academic literature reveals a significant imbalance in game engine applications for AEC: Unity dominates existing implementations while Unreal Engine remains notably underrepresented, with only one documented study employing an early-generation engine without modern BIM integration or VR support [3]. This gap constrains evidence-based technology selection for digital twin applications.

This paper presents an open-source BIM-to-digital twin workflow implemented in Unreal Engine 5.5 and validated on the four-story faculty building of the Faculty of Civil and Geodetic Engineering. The building is equipped with a Li-Cor HOBO sensor network deployed within an Industrial Internet of Things (IoT) infrastructure to enable real-time environmental monitoring. The initial prototype was developed at the same faculty as part of an advanced digital twin demonstration project. Previous work leading to this study included the development and iterative updating of the BIM model, as well as its test implementation across several digital twin platforms, including Autodesk Tandem. Based on several technical and research criteria, including interoperability, real-time data integration, scalability, and open-source accessibility, the University of Ljubljana invested in the development of an advanced IoT network to support continuous data acquisition and seamless integration with the digital twin environment.

The key scientific and technical contributions of this study are summarized as follows:

1. Pioneering comprehensive Unreal Engine 5.5 implementation for digital twins in AEC.
2. Workflow for preparation of BIM model for use in VR Facility Management
3. Real-time IoT sensor integration with sub-100 ms interface responsiveness.
4. Cross-platform desktop and VR implementation from a unified codebase, achieving 90–120 FPS.
5. A seamless multi-modal navigation system bridging 2D floor plans with 3D immersive exploration, achieving 0.3 m teleportation accuracy.

The paper is organized as follows: Section 2 presents related work and commercial platform comparison; Section 3 describes the system architecture; Section 4 details implementation; Section 5 presents results; Section 6 discusses findings and limitations; and Section 7 concludes with future directions.

2. Related Work

2.1 Digital Twins in Facility Management

Digital twin adoption in facility management remains constrained by persistent technical and organizational barriers. As established in Section 1, most implementations remain at Levels 2–3 of the taxonomy proposed by Deng et al. [1]. Empirical evidence from operational deployments remains limited. Zhao et al. [4] report a 10% improvement in staff satisfaction and 1% reduction in energy consumption in AEC facility management contexts, representing measurable but modest outcomes. More critically, Signorini and Pomè [5] document that digital twin adoption in facility management remains limited to approximately 13% of surveyed organizations, with implementation costs, integration complexity, and workforce skill gaps cited as primary barriers. Several researchers proposed frameworks to address these challenges. Hosamo et al. [6] develop conceptual models for predictive maintenance applications, while Revolti et al. [7] establish protocols specifically for BIM-to-digital twin transition, focusing on sensor connection methodologies. However, these frameworks largely remain at theoretical or prototype stages, with limited validation through comprehensive operational deployments that include quantified performance metrics and user experience evaluation.

A critical gap persists in the availability of cost-effective, open-source implementation approaches suitable for educational institutions and small-to-medium enterprises. Most documented implementations rely on commercial platforms with significant licensing requirements, creating adoption barriers for resource-constrained organizations [5], [6].

2.2 Game Engines in AEC Applications

Game engines have emerged as viable platforms for architectural visualization, design review, and facility management applications, offering real-time rendering, VR integration, and interactive capabilities that traditional BIM viewers cannot provide. However, current literature reveals a significant imbalance in engine representation within AEC research.

Analysis of game engine applications in AEC contexts demonstrates that Unity dominates current implementations, with documented applications including real-time BIM data exchange through UnityRev [8], interactive design review in healthcare facilities, immersive VR visualization for construction monitoring, and multi-user quality assurance workflows. These implementations validate Unity's capabilities for BIM integration and VR support, while also documenting persistent challenges with performance optimization for large architectural datasets and frame rate consistency in VR environments.

In contrast, Unreal Engine applications in AEC remain notably underrepresented. The only documented implementation employs an early version of the Unreal Tournament engine for basic remote collaboration and 3D visualization, without modern BIM integration or VR capability [3]. This research gap is significant because Unreal Engine offers several technical advantages relevant to facility management applications: superior real-time rendering quality through Lumen global illumination and Nanite virtualized geometry, industry-leading VR performance optimization, the Blueprint visual scripting system that enables rapid prototyping, and the Datasmith pipeline providing native IFC import capability.

The absence of comprehensive Unreal Engine implementations in AEC literature constrains evidence-based technology selection and limits understanding of the engine's potential for digital twin applications requiring high-fidelity visualization and immersive interaction.

2.3 Commercial Platform Comparison

Current commercial digital twin platforms offer varying levels of functionality but share common limitations regarding cost, flexibility, and accessibility. Table 1 presents a comparative analysis of leading platforms against the open-source workflow proposed in this research.

Tabela 1: Comparison of Digital Twin Platforms for Facility Management

Feature	**Autodesk Tandem [9]**	**Bentley iTwin [10]**	**Unity Reflect [11]**	**This Work**
BIM Import	Revit (native)	Multiple (native)	Revit (plugin)	IFC via Datasmith
IoT Integration	API-based	API-based	Custom development	HOBO Li-Cor API
VR Support	Limited	Limited	Yes (Unity XR)	Full (Meta Quest)
Real-time Rendering	Cloud-based	Cloud-based	Unity engine	UE5.5
2D-3D Navigation	Separate views	Separate views	Custom required	Seamless workflow
Licensing Cost	Commercial	Commercial	Open-source (€0)	Open-source (€0)
Customization	Limited API	SDK available	Full (Unity)	Full (Blueprint/C++)
Target Users	Enterprise FM	Infrastructure	Developers	FM / Education

Commercial platforms require significant financial investment and constrain customization, while cloud-based solutions (Tandem, iTwin) introduce network dependency. The proposed workflow eliminates licensing costs, provides full Blueprint/C++ customization, supports offline operation, and delivers superior rendering quality, particularly relevant for educational institutions and research environments with constrained budgets.

3. System Architecture

The system proposed in this work implements a four-layered modular architecture (Figure 1), where each layer builds upon the one below.

The Physical Environment Layer encompasses the building's 3D model geometry, deployed Li-Cor HOBO sensor hardware, and the environmental conditions being monitored. The Data Integration Layer manages three data streams: IFC BIM data imported through the Datasmith pipeline, preserving geometry, materials, and metadata; IoT sensor data through authenticated

HTTP communication with the Li-Cor API using a custom C++ component (IoTHttpManager); and external weather data from the OpenWeather API. The Navigation Layer provides floor management through level streaming, room selection via collision-based detection, and teleportation coordination using a two-point calibration coordinate transformation. The User Interface Layer delivers three parallel modalities: mini-map, full-screen interactive map, and VR environment, all sharing the same data structures and logic.



Figure 1: System Architecture Diagram

Three core data structures support the architecture. **S_FloorData** associates each building level with its floor plan image and vertical index. **S_RoomInfo** links room identification with sensor availability flags, calibrated teleportation coordinates, and descriptive metadata. **FSensorData**, implemented in C++ for performance-critical JSON parsing, encapsulates temperature, humidity, and CO2 readings with availability flags and timestamps. This hybrid C++/Blueprint separation enables non-programmers to modify room configurations through visual scripting while maintaining efficient data processing.

4. Implementation

This section details the implementation of the proposed system using a four-story building as a case study. The building comprises four levels with active environmental monitoring through Li-Cor HOBO sensors deployed across classrooms and offices.

4.1 BIM Model Processing

The building model was originally created in ArchiCAD 24 and exported as IFC 2.3. The import process encountered several practical challenges representative of real-world BIM-to-game engine integration workflows.

The IFC 2.3 schema caused metadata loss during initial processing attempts. Direct re-export through ArchiCAD 28 failed due to missing library dependencies between software versions, resulting in geometric element loss. The solution employed Blender Bonsai, an open-source IFC authoring platform, to stabilize and upgrade the model prior to Unreal Engine import. While this intermediate step deviated from the ideal direct pipeline, it produced a fully functional IFC model compatible with the Datasmith importer.

The Datasmith pipeline processed the four-level building in approximately one minute, preserving architectural geometry, material assignments, and IFC metadata, including element classification references, ownership history, and schema traceability. Post-import optimization involved selective removal of high-polygon vegetation geometry that contributed disproportionately to rendering overhead without value for facility management. This targeted optimization achieved a stable 120 FPS performance while preserving all architecturally relevant elements.

A critical limitation of the Datasmith importer was the absence of IFC spatial entity support; IfcSpace and IfcRoom objects were not imported, requiring an alternative approach to room identification. The solution employed manually positioned collision box volumes within each room's geometric boundaries, with each volume containing metadata for room identification, sensor logger mapping, and teleportation coordinates. This collision-based system provides automatic room detection through OnOverlapBegin/End events when users navigate through the building.

The building was organized using Unreal Engine's level streaming system across four levels: Klet_2 (basement), Pritličje_2 (ground floor), Nadstropje_2 (second floor with primary monitored spaces), and Nadstropje_3 (third floor). This organization enables selective level loading based on user position, optimizing memory utilization during navigation.

4.2 IoT Sensor Integration

The IoT integration connects the digital twin with real-time environmental data from the Li-Cor HOBOlink sensor network deployed within the building. The implementation employs a custom C++ component (IoTHttpManager) that handles the complete data pipeline from authenticated API requests to structured data delivery.

The IoTHttpManager class extends UActorComponent and provides two key interfaces: a BlueprintCallable function for initiating HTTP requests with bearer token authentication, and a BlueprintAssignable delegate that broadcasts parsed sensor data to the Blueprint logic layer. This hybrid C++/Blueprint approach was adopted after Blueprint-native JSON parsing proved insufficient for the nested data structures returned by the Li-Cor API.

The sensor data pipeline operates as follows. When a user enters a monitored room, the collision detection system identifies the room and retrieves the associated sensor logger ID. The system generates an authenticated HTTPS request to the Li-Cor API with UTC timezone handling for accurate temporal data alignment. The C++ layer parses the JSON response and populates an FSensorData structure containing temperature (°C), humidity (%), and CO2 (ppm) values alongside availability flags for each sensor type. This structure is then broadcast to the Blueprint system, which updates the user interface within sub-100ms response times.

To support building-wide overview, the system pre-loads sensor data for all monitored rooms at initialization, enabling instant retrieval with visual differentiation between live and cached readings.

4.3 Navigation and Interaction Implementation

The multi-modal navigation system was implemented through three interconnected UMG widget systems sharing the same underlying data structures.

The mini-map (WBP_MiniMap) provides continuous spatial orientation at the bottom-center of the viewport. Real-time player tracking transforms 3D world positions to 2D floor plan coordinates using linear interpolation between two calibrated building-corner reference points. Floor-level detection uses Z-coordinate thresholds to automatically switch floor plan displays across all four building levels.

The full-screen interactive map (WBP_FullScreenMap) provides the central facility management interface. A notable technical challenge involved unreliable mouse interaction with UMG Image widgets in UE5.5, resolved by overlaying invisible Button components over room areas with hover and pressed visual feedback. The floor navigation dropdown dynamically manages room button visibility based on FloorLevel properties, displaying only relevant elements for the selected building level.

The teleportation system enables direct 3D navigation from the map interface. Upon room selection, the TeleportToRoom function retrieves calibrated coordinates from the S_RoomInfo structure and executes instant player positioning. Teleportation coordinates were manually calibrated for each room to ensure optimal positioning with clear sightlines, achieving 0.3m average accuracy against a 1m target requirement.

4.4 VR Adaptation

The VR implementation extends the desktop system to Meta Quest hardware through Widget Component conversion and rendering pipeline optimization, maintaining identical functionality across both platforms.

Desktop UMG widgets were converted to 3D Widget Components attached to the VR Pawn, configured with World widget space, 800×600 pixel draw size at 0.3x scale, positioned 2 meters from the user's viewpoint. Controller-based interaction replaces mouse input through line trace methodology on the Visibility channel, with trigger press events converted to mouse click simulations on detected Widget Components. Widgets implement billboard behavior through Event Tick look-at rotation toward the VR camera position.

Rendering optimization was essential for achieving VR comfort standards. The system transitioned from deferred to Forward Shading, disabled hardware ray tracing and Lumen global illumination, reduced anti-aliasing from 4x to 2x MSAA, and enabled fixed foveated rendering. These modifications improved frame rates from 65–73 FPS to consistent 90–120 FPS on an Intel i9-13980HX / RTX 4070 mobile GPU configuration, meeting the 90 FPS minimum for comfortable VR experiences.

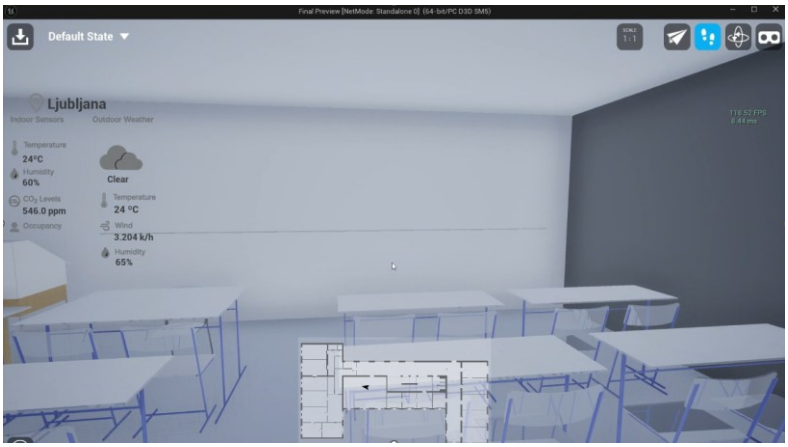


Figure 2: Implementation

5. Results and Validation

The implemented system was validated through comprehensive performance testing across desktop and VR platforms using the four-level university building as the operational test environment. Validation addressed four dimensions: technical performance, navigation efficiency, IoT data integration, and cross-platform reliability.

All performance targets were met or exceeded. Desktop rendering achieved 120 FPS, double the 60 FPS target, providing substantial headroom for future feature additions. VR performance consistently maintained the 90 FPS minimum required for comfortable immersive experiences, with frame times between 8–11 ms after systematic rendering pipeline optimization reduced GPU utilization from 95% to 75%. The navigation system demonstrated significant efficiency gains over traditional building exploration methods. The average room-to-room navigation time of 15 seconds through the map-and-teleport workflow represents a 75% reduction compared to the 60-second target based on manual building traversal estimates.

Interface responsiveness consistently achieved sub-100ms response times for all user interactions, including floor switching, room selection, sensor data display, and teleportation execution. This performance level ensures that the system feels immediately responsive, a critical factor for user adoption in facility management contexts where operators expect real-time feedback. The sensor data integration was validated across both instrumented rooms with varying sensor configurations:

Lecture Hall 201 (full sensor suite): Temperature, humidity, and CO2 readings were successfully retrieved, parsed, and displayed in real-time upon room entry. The C++ JSON parsing pipeline processed Li-Cor API responses within sub-100ms, with sensor availability flags correctly reflecting the complete sensor deployment. CO2 readings provided additional occupancy indication value beyond direct environmental monitoring.

Office 205 (partial sensor suite): The system correctly identified the absence of CO2 and occupancy sensors through availability flags, displaying only temperature and humidity data while clearly indicating unavailable sensor types through visual indicators. This graceful degradation demonstrates the system's adaptability to heterogeneous sensor deployments, a practical requirement for real building environments where sensor coverage varies between spaces.

6. Discussion

The results demonstrate that professional-grade digital twin capabilities can be delivered at zero licensing cost, challenging the assumption that commercial platforms are required. The hybrid C++/Blueprint architecture proved essential: complex JSON parsing runs in C++ for performance, while interface logic and room configuration remain in Blueprint visual scripting, enabling non-programmers to maintain and extend the system.

This work directly addresses the Unreal Engine research gap in AEC. Within Deng et al.'s [1] taxonomy, the system operates at Level 3 (BIM + IoT), with the modular architecture providing a foundation for Level 4 advancement through future ML integration. The workflow is relevant for Portugal's BIM transition under Decreto-Lei 10/2024 [2], offering institutions a practical entry point for digital twin adoption.

Several limitations should be acknowledged. The current implementation covers two instrumented rooms; scalability to full building coverage requires validation. The absence of Datasmith support for IFC spatial entities necessitated manual collision box placement — a labor-intensive step scaling linearly with room count. User experience evaluation involved a limited participant group; broader studies with diverse facility management professionals would strengthen validation. The IFC 2.3 source model introduced interoperability challenges; validation with native IFC 4.3 models would confirm compatibility with current standards [7].

7. Conclusions and Future Work

This paper presents an open-source workflow for developing interactive digital twins in Unreal Engine 5.5, integrating BIM data, real-time IoT sensor monitoring, and immersive VR navigation. The system was validated on a four-level faculty building at the University of Ljubljana, demonstrating that game engine technology can deliver professional-grade facility management capabilities without licensing costs.

The research yields four principal contributions. First, a seamless multi-modal navigation workflow bridging 2D floor plan interfaces with 3D immersive exploration through coordinate transformation and teleportation, achieving 0.3-meter accuracy — with no documented equivalent in current AEC literature. Second, a real-time IoT integration pipeline using a hybrid C++/Blueprint architecture that connects Li-Cor HOBO sensors with spatial building visualization, achieving sub-100ms interface responsiveness. Third, a cross-platform implementation supporting desktop (120 FPS) and VR (90–120 FPS) operation from a unified codebase. Fourth, the first comprehensive Unreal Engine 5.5 implementation for digital twins in AEC, establishing performance baselines for future comparative research.

Future work should address the identified limitations through several development directions. Expanding room coverage across all building levels with automated room boundary extraction from IFC geometry would reduce the manual configuration overhead currently required for collision-based room detection. Validation with native IFC 4.3 models would confirm compatibility with current buildingSMART standards and strengthen the workflow's applicability to new construction projects. Integration of BCF (BIM Collaboration Format) would enable issue tracking and collaborative facility management workflows, connecting the digital twin with established BIM coordination platforms such as BIMCollab. The modular

architecture also supports future advancement toward predictive facility management through integration of machine learning analytics for sensor data pattern recognition and anomaly detection.

Acknowledgement

This study was partly supported by the University of Ljubljana for Sustainable Society ULTRA Pilot 4 Sustainable Environment. The project was co-financed by the Republic of Slovenia, the Ministry of Higher Education, Science and Innovation, and the EU - NextGenerationEU. The investment is part of the plan's measures, which are financed by the Recovery and Resilience Facility. Special thanks to Dr. Andrej Vidmar for his IoT expertise and professional guidance.

References

[1] M. Deng and C. Menassa, "From BIM to digital twins: A systematic review of the evolution of intelligent building representations in the AEC-FM industry," *J. Inf. Technol. Constr.*, vol. 26, pp. 58–83, Feb. 2021, doi: 10.36680/j.itcon.2021.005.

[2] Presidency of the Council of Ministers, "Decree-Law 10/2024." Presidency of the Council of Ministers. [Online]. Available: https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/decreto-lei/10-2024-836222484

[3] W. Thabet, M. F. Shiratuddin, and D. Bowman, "Virtual Reality in Construction," 2002, pp. 25–52.

[4] J. Zhao, H. Feng, Q. Chen, and B. Garcia De Soto, "Developing a conceptual framework for the application of digital twin technologies to revamp building operation and maintenance processes," *J. Build. Eng.*, vol. 49, p. 104028, May 2022, doi: 10.1016/j.jobe.2022.104028.

[5] M. Signorini and A. Pomè, "Shaping the future of facility management. Market and literature insights on digital twin adoption," *Facilities*, Apr. 2025, doi: 10.1108/F-02-2025-0029.

[6] H. Hosamo, A. Imran, J. Cardenas-Cartagena, P. Svennevig, K. Svidt, and H. Nielsen, "A Review of the Digital Twin Technology in the AEC-FM Industry," *Adv. Civ. Eng.*, vol. 2022, pp. 1–17, Mar. 2022, doi: 10.1155/2022/2185170.

[7] A. Revolti, L. Gualtieri, P. Pauwels, and P. Dallasega, "From building information modeling to construction digital twin: a conceptual framework," *Prod. Manuf. Res.*, vol. 12, Aug. 2024, doi: 10.1080/21693277.2024.2387679.

[8] K. May, J. Walsh, R. Smith, N. Gu, and B. Thomas, *UnityRev - Bridging the gap between BIM Authoring platforms and Game Engines by creating a Real-Time Bi-directional Exchange of BIM data*. 2022, p. 536. doi: 10.52842/conf.caadria.2022.2.527.

[9] Autodesk, "Autodesk Tandem," 2024. [Online]. Available: https://www.autodesk.com/products/tandem

[10] Bentley Systems, "iTwin Platform," 2024. [Online]. Available: https://www.bentley.com/software/itwin-platform

[11] Unity Technologies, "Unity Reflect," 2024. [Online]. Available: https://unity.com/products/unity-reflect

12345

INTEGRAÇÃO DIRETA DE MODELOS BIM EM MOTOR DE JOGOS OPEN SOURCE: UM LEITOR IFC PARA GODOT

Bruno Muniz, José Granja, Miguel Azenha

ptBIM

INTEGRAÇÃO DIRETA DE MODELOS BIM EM MOTOR DE JOGOS OPEN SOURCE: UM LEITOR IFC PARA GODOT

Bruno Muniz [(1)], José Granja [(2)], Miguel Azenha [(3)]

(1) Universidade do Minho, ISISE, ARISE, Departamento de Engenharia Civil, Guimarães, Portugal, ORCID:0000-0002-3183-9779
(2) Universidade do Minho, ISISE, ARISE, Departamento de Engenharia Civil, Guimarães, Portugal, ORCID: 0000-0002-0858-4990
(3) Universidade do Minho, ISISE, ARISE, Departamento de Engenharia Civil, Guimarães, Portugal, ORCID:0000-0003-1374-9427

Resumo
A indústria dos videojogos tem desenvolvido, ao longo de décadas, experiências 3D que se destacam pela sua elevada fidelidade visual e interatividade. Na base da criação dos videojogos estão os motores de jogos, que permitem a gestão de diversos recursos a nível de interação e simulação. A indústria da construção tem incorporado motores de jogos nos últimos anos mediante integrações com modelos BIM, especialmente para a exploração de usos como a visualização de projetos em realidade virtual e aumentada, identificação de situações de risco e simulações. Contudo, os fluxos de trabalho atuais baseiam-se maioritariamente na utilização de motores e *softwares* proprietários e/ou de fluxos fragmentados de conversão de dados, que envolvem exportação das informações gráficas e metadados separadamente para outros formatos padronizados, como *Wavefront* e JSON, para depois permitir a sua inserção nestes motores. Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um leitor de modelos BIM, baseado no formato aberto IFC, para o motor de jogos de código aberto Godot. O leitor permite o processamento direto das informações geométricas e alfanuméricas do IFC de maneira integrada para o motor, permitindo a sua utilização para a criação de ferramentas openBIM. Finalmente, este trabalho demonstra alguns exemplos de criação de ferramentas BIM a partir do leitor desenvolvido, para validar o potencial de utilização da ferramenta.

1. Introdução

A visualização e interação com os modelos de informação de edifícios é uma das atividades centrais na metodologia BIM [1]. Paralelamente, a indústria dos jogos digitais também tem como um dos fatores centrais a visualização e interação com modelos que carregam informações 3D e metadados, apesar de possuir propósitos significativamente distintos dos da construção.

A indústria dos videojogos tem crescido ano após ano, com receita global próxima de 260 mil milhões de dólares no ano de 2025 [3]. Desde os seus passos iniciais, em meados do século XX, os videojogos tiveram uma grande evolução na sua fidelidade gráfica e capacidade de proporcionar simulações do mundo real através do fotorrealismo e representação de fenómenos naturais [4]. Os motores de jogos são os *softwares* centrais nesta evolução, pois agregam diversas capacidades, tanto a nível gráfico, como de coordenação de informação geométrica e alfanumérica.

Para exemplificar a coordenação destas informações, videojogos de automobilismo precisam de agregar a informação geométrica dos carros a atributos como aceleração, capacidade de receber danos, capacidade de fazer curvas, entre outros. Assim, os modelos utilizados para representar ativos nos jogos possuem paralelo com os modelos de informação utilizados no setor da construção. Videojogos como SimCity ou Cities: Skylines tornam este paralelo ainda mais evidente, ao fazer a representação de ativos num ambiente urbano e utilizar metadados para determinar a densidade populacional, tráfego [5], entre outros parâmetros.

Partindo deste princípio, os motores de jogos já foram previamente utilizados em iniciativas na indústria e ao nível académico, de maneira a recorrer às capacidades gráficas, de simulação e de interação com modelos e gerar experiências fiéis e imersivas. Estas iniciativas focam-se maioritariamente em aspetos de visualização do modelo e interação mediante recurso à realidade virtual (VR) e à realidade aumentada (AR). Por outro lado, já existem estudos que preveem uso de motores de jogos para a simulação e a criação de aplicações com usos variados, a exemplo da gestão de construção [6], havendo ainda fatores que impedem uma maior integração de modelos e dos motores.

Dentre os fatores impeditivos, a interoperabilidade ainda é central. Isto se deve maioritariamente à necessidade de fragmentação das informações contidas no modelo (geometria, metadados e relações) em formatos específicos para poderem ser utilizadas nos motores [7]. Algumas soluções, como o Datasmith [8] na Unreal Engine e IFC Editor Plugin para o Unity [9], permitem integrar diretamente estas informações nos respetivos motores a partir do processamento de modelos IFC, entretanto ainda possuem limitações na obtenção de algumas informações, a exemplo dos espaços no Datasmith e da flexibilidade para a criação de colisões no Unity.

Outro aspeto importante na utilização de ambos motores (Unity e Unreal), está no fato de serem proprietários, o que pode sujeitar utilizadores a mudanças de licença e alteração nos modelos de pagamento, com potencial de inviabilizar o seu uso. Isto pode ser exemplificado pela mudança do modelo de pagamentos da Unity em 2023, que trocou o plano anual de pagamentos por um pagamento por cada cópia do jogo criado com o motor, diminuindo o potencial de lucro por replicabilidade [10]. Em resposta a este último caso, muitos desenvolvedores partiram em busca de soluções confiáveis de código aberto, o que acabou por impulsionar motores de jogos como o Godot.

Godot é um motor de jogos 2D e 3D, de uso geral, com capacidade de criar videojogos e aplicações para *desktop*, *mobile* e *web* [11]. O seu desenvolvimento começou em 2001 em um estúdio argentino, mas o projeto tornou-se de código aberto em 2014. No relatório "The Big Game Engine Report of 2025" o Godot figura como um dos três principais motores de jogos, com a Unreal engine e o Unity [12]. Entretanto, diferentemente destes outros motores, o Godot possui código aberto. Além disso, o motor conta com atualizações e melhorias constantes, estando; à data de escrita deste artigo, na sua versão 4.6.

O desenvolvimento no motor Godot é feito maioritariamente com a linguagem nativa do motor, GDScript. Entretanto, os desenvolvedores publicam oficialmente uma versão .NET, com capacidade de codificar em C# além de dar suporte à codificação em C++ através do recurso GDExtensions [13]. Complementarmente, *plugins* criados pela comunidade têm permitido a integração de outras linguagens como Python e Rust.
Este trabalho então apresenta um leitor de IFC (GDIFC) para o motor de jogos de código aberto Godot, que permite a leitura de ficheiros IFC de forma direta e com informação geométrica e alfanumérica integradas, de tal modo que isto permite a criação de aplicações BIM para diversos fins. Este leitor visa proporcionar uma alternativa ao uso dos motores proprietários ao mesmo tempo que visa colmatar algumas das lacunas que existem nas soluções proprietárias. Finalmente, o trabalho apresenta exemplos de aplicação, demonstrando a utilidade e incorporação do leitor para a criação de aplicações e de experiências interativas a partir de modelos BIM.
As próximas secções do trabalho apresentam respetivamente: desenvolvimento do GDIFC, com descrição pormenorizada das funcionalidades pretendidas e de como o modelo IFC é processado; uso e configurações, onde são apresentadas a formas de utilizar o GDIFC e quais as configurações possíveis; exemplos de aplicação, com a apresentação de protótipos que preveem a utilização do GDIFC para usos BIM; conclusões e desenvolvimentos futuros.

2. Desenvolvimento do GDIFC

O desenvolvimento do GDIFC partiu da busca pela exploração do potencial do motor de jogos Godot para o desenvolvimento de ferramentas BIM baseadas em IFC. A capacidade de atender a diferentes casos de uso, implicou no desenvolvimento de uma solução abrangente, sendo um dos fatores centrais que permeou o seu desenvolvimento. Esta abrangência implica na capacidade de satisfazer requisitos mais usuais, como permitir a criação de experiências em realidade virtual (VR), assim como permitir a criação de aplicações que historicamente não são desenvolvidas em motores de jogos, como visualizadores BIM. Desta maneira, as próximas subsecções apresentam aspetos do desenvolvimento que visaram garantir as capacidades básicas de leitura do IFC para obtenção de uma solução abrangente, enquanto se tentou dar uma resposta às lacunas deixadas por outras soluções existentes.

2.1. Capacidade de leitura direta e integrada

Uma das limitações encontradas em muitos fluxos de trabalho que visam integrar modelos BIM com motores de jogos é a fragmentação do processo e da informação [7]. Nestes cenários, os modelos originais precisam de ter a sua geometria convertida para outro formato, como *Wavefront* ou glTF, e sua informação alfanumérica, quando utilizada, é convertida para um formato como JSON. Após estas conversões, as informações então podem ser consumidas pelos motores e então associadas com utilização do identificador global de cada objeto (i.e., GUID). Por sua vez, estes processos de conversão intermediários são executados em outros *softwares* e/ou ferramentas (p. ex. Blender e IfcConvert), o que torna um processo pouco dinâmico e passível de erros.
Visto esta limitação, o requisito principal do GDIFC era permitir o carregamento direto das informações geométricas e alfanuméricas do IFC dentro do Godot, para evitar a fragmentação no processo.

2.2. Capacidade de leitura do modelo "in-game"

O desenvolvimento de *software* através do Godot ocorre através da criação de cenas, compostas de nós e *scripts*. Este processo é fundamentado no design direcionado a objetos, de forma que os nós representam desde elementos como objetos 3D a botões e abstrações como pontos de vida e são criados a partir de classes. Ao desenvolver aplicações no motor de jogos, as atividades passam por determinar os nós em cada cena, assim como o seu comportamento individual e de troca de informações entre si. Esta configuração é pensada para ser executada dentro do jogo, de tal forma que a configuração que ocorre no editor é maioritariamente estática. Para capacitar a criação de aplicações que permitam consumir IFCs, foi preciso desenvolver a capacidade do leitor de ser executado dentro do jogo (*in-game*). De forma prática, para desenvolver esta capacidade, foi preciso permitir a utilização de método de leitura e processamento de IFC com a utilização da linguagem GDScript, o que foi implementado via classes que serão apresentadas na secção 2.4.

2.3. Dependências tecnológicas

O principal recurso utilizado para o desenvolvimento do GDIFC foi sistema GDExtension, que permite ampliar as capacidades do motor de jogos através de extensões baseadas em C++. Desta forma, as funcionalidades adicionadas com este sistema possuem elevado desempenho, se comparado aos *plugins* desenvolvidos em GDScript ou mesmo em C#.

A utilização do C++ como linguagem principal favoreceu a integração de outras duas bibliotecas que serviram de base para o desenvolvimento das capacidades de processamento do IFC: engine_web-ifc e IfcOpenShell.

A Web IFC é uma biblioteca que possui núcleo da arquitetura em C++, sendo bastante eficaz no processo de conversão das representações geométricas do modelo IFC, como o "Brep", "SweptSolid" e "CSG" em malhas poligonais. Apesar de também possuir capacidade de obter informações alfanuméricas, a API da Web IFC em C++ não é completa para este fim, tendo por defeito limitações na capacidade de percorrer as relações das entidades no IFC.

Já o IfcOpenShell é uma biblioteca que também possui núcleo em C++, apesar de ter uma API em Python que é mais popularmente utilizada. Dentre os módulos que compõem a biblioteca, o IFCParse é o responsável pelo processamento inicial do modelo IFC, permitindo o processamento do modelo e criação dos respetivos objetos através de um modelo de classes em C++. Assim, todas as informações do modelo estão disponíveis através da API do IFCParse, permitindo o acesso às informações segundo o modelo inicialmente definido em EXPRESS.

Apesar do IfcOpenShell também possuir um módulo para processamento geométrico, o IfcGeom, este depende da biblioteca OpenCascade, o que torna os projetos desenvolvidos a partir do IfcGeom mais pesados e com API mais complexa do que o da Web IFC.

A combinação dos componentes da Web IFC e do IfcOpenShell, então, permitiram criar uma solução simplificada, capaz de facilmente gerar malhas poligonais a partir da representação geométrica dos elementos em IFC e de obter todas as informações alfanuméricas a partir de API baseada em C++.

2.4. Fluxo de processamento do IFC e integração ao Godot

De maneira simplificada, o procedimento de leitura do IFC e integração com o Godot foi desenvolvido a partir dos três seguintes passos:

a. Processamento da informação alfanumérica
b. Processamento da geometria
c. Integração das informações em objetos do Godot

Este fluxo ocorre de forma assíncrona no motor para a executar o processamento (a) e (b) num *thread* paralelo e não travar o motor de jogos de forma prolongada, havendo, entretanto, latência conquanto de (c). Na prática, isto permite que durante a execução de aplicações criadas com o GDIFC, seja possível continuar a interagir com um modelo enquanto outro é carregado.
Em termos da estrutura do projeto, duas classes principais foram criadas: GDIFCManager e IFCNode. O primeiro é responsável pela coordenação e processamento das informações do ficheiro, de tal forma que possui os principais métodos para ler e buscar informações ao IFC. O segundo é responsável por conter todas as informações alfanuméricas de cada um dos elementos do IFC, assim como conter as malhas poligonais e os elementos agrupados conforme as relações de agregação do IFC. Logo, a estrutura básica, como apresentada na Figura 1, possui o GDIFCManager como nó principal, sendo desagregada em IFCNodes que podem ou não conter geometria.

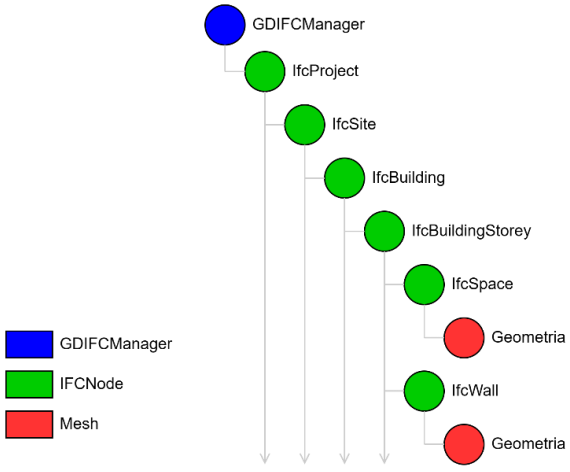


Figura 1: Exemplo de árvore parcial de IFC no Godot.

2.5. Instalação, uso e configurações

O código do GDIFC está completamente disponível em repositório aberto [1], com indicações gerais para compilação e uso. Entretanto, a forma mais simples de obter o GDIFC é a partir da biblioteca de recursos do Godot, que pode ser acedida através do motor em qualquer projeto [2].

[1] https://github.com/Muniz1994/GDIFCpub
[2] https://godotengine.org/asset-library/asset/4212

Há dois modos principais para utilização: através da interface e através de *scripts*. O primeiro envolve o carregamento do IFC na interface do Godot, e serve especialmente para quando se deseja fazer algum tipo de pós-processamento no modelo ou a adição de agentes. Neste caso, a aba GDIFC, localizada na área direita do editor, deve ser utilizada. Esta aba contém o botão para carregar o IFC, assim como configurações de carregamento, a exemplo da criação automática de colisões.
O segundo envolve o carregamento através da utilização do GDScript, e é recomendada para a criação de aplicações com o Godot baseadas em IFC. O carregamento do IFC pode ser feito com o método read_ifc(), da classe GDIFCManager. Após isto, as informações referentes aos outros elementos podem ser obtidas através do acesso a atributos e propriedades dos respetivos nós.

2.6. Limitações e Desempenho

De forma diminuir o tamanho dos ficheiros da biblioteca, as versões do IFC suportadas pelo GDIFC são 2.3.0.1 (2x3), 4.0.2.1 (4 ADD2 TC1) e 4.3.2.0 (4.3 ADD2). Desta maneira, o tamanho do ficheiro que é descarregado para instalação é de aproximadamente 65 MB.
Testes com modelos de testes disponíveis em repositórios geridos pela buildingSMART no Github foram utilizados para determinar o desempenho no carregamento dos modelos no Godot. Para isso, um código em GDScript foi elaborado para iniciar um cronómetro antes da função de carregamento com paragem logo após o carregamento de todos os objetos e suas componentes geométricas e alfanuméricas. O sistema utilizado para os testes é composto de um processador AMD Ryzen 5 7600X, uma placa gráfica Nvidia 4070 super e 32 GB de memória RAM. A Tabela 1 apresenta os modelos, suas versões IFC, tamanho e tempos de carregamento.

Tabela 1: Desempenho de carregamento do GDIFC

	Versão IFC	**Tamanho (MB)**	**Tempo de carrega-mento (s)**
Viadotto Acerno	4.3.2.0	31,5	3,52
Infra Landscaping	4.0.2.1	2,94	0,14
Schependomlaan	2.3.0.1	47,0	3,88

3. Exemplos de aplicação

Este trabalho apresenta exemplos de aplicação para demonstrar o potencial de utilização do GDIFC, tanto para ferramentas usuais quanto a nível de investigação. Desta forma, os exemplos apresentados nas próximas subsecções são compostos por protótipos com breve explicação de como o GDIFC foi integrado.

3.1. Visualizador

Este caso apresenta a capacidade de desenvolvimento de um visualizador de IFC baseado em Godot + GDIFC. As capacidades básicas definidas para o visualizador são o carregamento do modelo, apresentação da árvore de estrutura espacial e seleção dos elementos, assim como apresentação de informações alfanuméricas dos elementos selecionados (Figura 2).

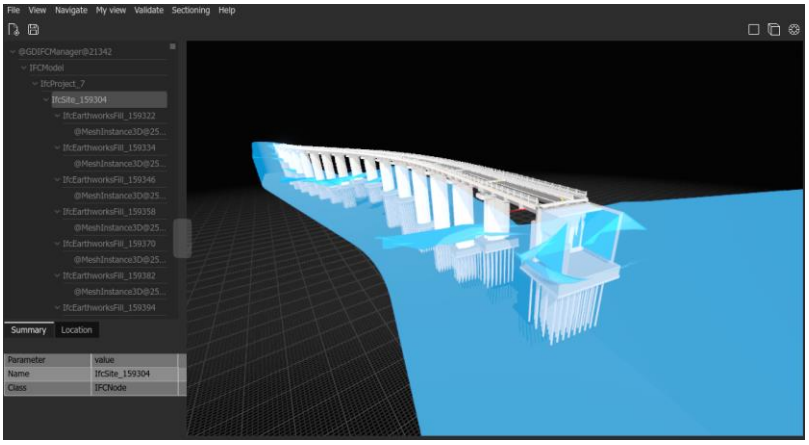


Figura 2: Exemplo de interface de utilização do visualizador.

A integração do GDIFC para a implementação do visualizador ocorre primeiramente pela capacidade de requisitar o GDIFCManager para inserir o IFC na cena 3D. No exemplo desenvolvido, um botão de abertura do ficheiro foi criado na interface de utilizador para a permitir abrir uma janela do sistema, criar uma instância do GDIFCManager na cena 3D e fornecer o caminho do ficheiro para que os elementos do IFC fossem também inseridos na cena. Após o carregamento do modelo, elementos da interface, como a árvore de elementos e as tabelas, são desbloqueados e fazem referência ao modelo e aos seus elementos. Além disso, todos os componentes da interface permitem interagir com as informações do modelo, para destacar visualmente elementos do ramo da árvore selecionado.

3.2. Integração com 3D *tiles*

O ambiente do motor de jogos também propicia uma facilitada integração com informações vindas em formato 3D *tiles*, já que o formato emprega dados serializados em JSON e glTF, que defeito podem ser integrados aos motores. Assim, é possível coordenar a integração de informações do IFC lidas através do GDIFC e de *tiles* que permitam contextualizar a envolvente do edifício, como os *tiles* fotorrealistas da Google (Figura 3).

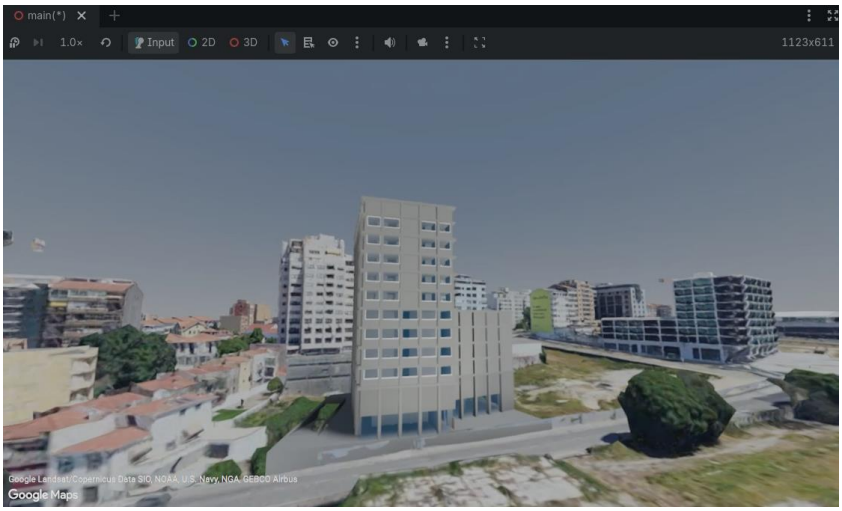
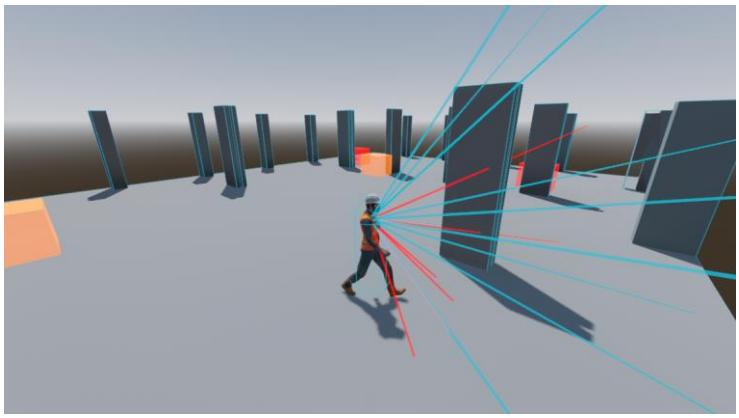


Figura 3: Exemplo de integração com *tiles* fotorrealistas da Google.

3.3. Aprendizagem por reforço (Reinforcement Learning)

Como apresentado em [14], a integração do Godot com o Python permitiu o desenvolvimento da extensão Godot-rl, que capacita o treino de agentes dentro do motor de jogos através de algoritmos disponíveis no *Stable Baselines*, *Sample Factory*, entre outros. Esta capacidade já foi explorada no âmbito da construção em trabalho desenvolvido na Universidade do Minho [15]. A utilização do GDIFC diminui a necessidade de pós-processamento dos modelos para o treino de agentes, já que o comportamento de colisão para elementos pode ser definido automaticamente no carregamento do modelo. Além disso, elementos podem ser desligados facilmente em grupos definidos pelas suas classes IFC.

Desta maneira, o trabalho passa a ser configurar o comportamento do agente, sua interação com o ambiente e as observações, que podem ser definidas, por exemplo, por sensores constituídos de raios identificadores da intersecção com objetos, como demonstrado na Figura 4.


Figura 4: Agente a executar observações no ambiente através de sensores compostos por raios de colisão.

4. Conclusões e desenvolvimentos futuros

Este trabalho apresentou o desenvolvimento da extensão GDIFC para o motor de jogos Godot, que permite a integração direta de modelos IFC, com as informações geométricas e alfanuméricas. Com esta integração, o motor de jogos pode ser facilmente utilizado para o desenvolvimento de ferramentas BIM assim como para o desenvolvimento de simulações, com ou sem integração de aprendizagem automática.
As capacidades do GDIFC desenvolvidas até o momento já permitem usar o Godot para para variados fins, o que é demonstrado de forma simplificada com os exemplos desenvolvidos. Entretanto, capacidades de integração com modelos de cidade e de criação e edição de IFCs a partir da extensão ainda são previstos, o que permitirá acrescer os benefícios e capacidade das ferramentas desenvolvidas.

Agradecimentos

Este trabalho foi apoiado pela FCT/MCTES no âmbito da Unidade de I&D Instituto para a Sustentabilidade e Inovação em Estruturas de Engenharia (ISISE), com as referências UID/4029/2025 (https://doi.org/10.54499/UID/04029/2025) e UID/PRR/04029/2025 (https://doi.org/10.54499/UID/PRR/04029/2025), e no âmbito do Laboratório Associado Produção Avançada e Sistemas Inteligentes ARISE com a referência LA/P/0112/2020.
Realizado ao abrigo do Projeto "AIGENT - Gamificação baseada em IA para segurança na construção" (ref.: C744727449-00027455), financiado pelo Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (FEDER), através do Sistema de Incentivos à Investigação e Desenvolvimento, no âmbito do Programa Operacional para a Competitividade e Internacionalização do Portugal 2030.

Referências

[1] C. M. Eastman, Ed., *BIM handbook: a guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers, and contractors*, 2. ed. Hoboken, NJ: Wiley, 2011.
[2] C. U. Aleke, W. O. Usang, A. Obi-obuoha, A. A. Jolaosho, and O. O. Michael, 'Artificial intelligence as a tool for enhancing building information modeling (BIM)', *World J. Adv. Res. Rev.*, vol. 24, no. 2, pp. 1833–1846, Nov. 2024, doi: 10.5281/zenodo.15104909.
[3] 'Video gaming report 2026: how platforms are colliding and why this will spark the next era of growth', BCG Global. Accessed: Feb. 12, 2026. [Online]. Available: https://www.bcg.com/publications/2025/video-gaming-report-2026-next-era-of-growth
[4] P. Amiri, 'Review of rendering evolution of game engines in the 3D era', 2024, Accessed: Feb. 15, 2026. [Online]. Available: https://lutpub.lut.fi/handle/10024/167993
[5] A. Lehto, D. Morello, and K. Korppoo, 'Game design deep dive: traffic systems in cities: skylines', Game Developer. Accessed: Apr. 29, 2026. [Online]. Available: https://www.gamedeveloper.com/design/game-design-deep-dive-traffic-systems-in-i-cities-skylines-i-

[6] M. Assaf, S. Assaf, X. Li, and M. Al-Hussein, 'A multi-user game-based system for planning modular construction activities', *Expert Syst. Appl.*, vol. 299, p. 130050, Mar. 2026, doi: 10.1016/j.eswa.2025.130050.
[7] S. U. Rehman, I. Kim, and K.-E. Hwang, 'Advancing BIM and game engine integration in the AEC industry: innovations, challenges, and future directions', *J. Comput. Des. Eng.*, vol. 12, no. 4, pp. 26–54, Apr. 2025, doi: 10.1093/jcde/qwaf030.
[8] 'Importing IFC files into unreal engine using datasmith | unreal engine 5.7 documentation | epic developer community', Epic Games Developer. Accessed: Feb. 15, 2026. [Online]. Available: https://dev.epicgames.com/documentation/en-us/unreal-engine/importing-ifc-files-into-unreal-engine-using-datasmith
[9] *Chair-intelligent-technical-design/IFC-unity-editor-plugin*. (Jan. 21, 2026). C#. Chair-Intelligent-Technical-Design. Accessed: Feb. 15, 2026. [Online]. Available: https://github.com/Chair-Intelligent-Technical-Design/IFC-Unity-Editor-Plugin
[10] M. Isaac and K. Browning, 'How a pricing change led to a revolt by unity's video game developers', *The New York Times*, Oct. 02, 2023. Accessed: Feb. 15, 2026. [Online]. Available: https://www.nytimes.com/2023/10/02/technology/how-a-pricing-change-led-to-a-revolt-by-unitys-video-game-developers.html
[11] 'Introduction', Godot Engine documentation. Accessed: Feb. 15, 2026. [Online]. Available: https://docs.godotengine.org/en/stable/about/introduction.html
[12] 'The big game engines report of 2025', Video Game Insights. Accessed: Feb. 15, 2026. [Online]. Available: https://app.sensortower.com/vgi
[13] 'What is GDExtension?', Godot Engine documentation. Accessed: Feb. 15, 2026. [Online]. Available: https://docs.godotengine.org/en/stable/tutorials/scripting/gdextension/what_is_gdextension.html
[14] E. Beeching, J. Debangoye, O. Simonin, and C. Wolf, 'Godot reinforcement learning agents', Dec. 07, 2021, *arXiv*: arXiv:2112.03636. doi: 10.48550/arXiv.2112.03636.
[15] A. O. O. Baka'di, 'Exploring agent-based models for construction planning using partial 4D BIM models', Universidade do Minho, Guimarães, 2025.

12345

INTEGRAÇÃO DE SISTEMAS DE MONITORIZAÇÃO AMBIENTAL EM MODELOS BIM-FM EM EDIFÍCIOS PÚBLICOS

Marcio Mortoni Silva, João Pedro Couto

ptBIM

INTEGRAÇÃO DE SISTEMAS DE MONITORIZAÇÃO AMBIENTAL EM MODELOS BIM-FM EM EDIFÍCIOS PÚBLICOS

Marcio Mortoni Silva [(1)], João Pedro Couto [(2)]

(1) Universidade do Minho, Guimarães, 0009-0009-1275-9894
(2) Universidade do Minho, Guimarães, 0000-0001-9607-0596

Resumo
A crescente necessidade de eficiência e sustentabilidade na gestão de edifícios tem impulsionado o uso de metodologias digitais integradas, com destaque para o *Building Information Modelling* (BIM). Embora já numa fase de ampla consolidação nas fases de conceção e construção, o potencial do BIM na fase de Operação e Manutenção (O&M), o denominado BIM para *Facility Management* (BIM-FM), ainda se encontra num processo de implementação e consolidação relativamente incipiente. Este trabalho, desenvolvido no âmbito de um projeto de doutoramento em Engenharia Civil na Universidade do Minho, visa explorar a integração do BIM-FM com sistemas de monitorização ambiental em edifícios públicos. Para tal, foi concebido e implementado um sistema de aquisição e gestão de dados em tempo real, baseado em sensores de temperatura e humidade instalados em diferentes edificações públicas situadas no Distrito Federal (Brasil). Os dados recolhidos são enviados para uma base central e visualizados por meio de uma interface web interativa, permitindo correlacionar as condições ambientais internas com parâmetros de conforto e desempenho dos edifícios. A integração desses dados nos modelos BIM pretende oferecer suporte à tomada de decisão em estratégias de manutenção preventiva e de melhoria do conforto térmico, reforçando o papel do BIM-FM como ferramenta de apoio à gestão inteligente de ativos. Os resultados preliminares indicam o potencial da abordagem proposta para promover maior eficiência operacional e sustentabilidade dos edifícios em uso, particularmente no que concerne ao contexto da gestão de edifícios públicos.

1. Introdução

A crescente preocupação com a sustentabilidade ambiental tem assumido um papel central nos diferentes setores produtivos, em particular na indústria da Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação (AECO). Este setor é responsável por impactos ambientais significativos ao longo de todo o ciclo de vida das edificações, desde a extração e transporte de recursos naturais até às fases de uso, operação e fim de vida. Neste contexto, a academia e a prática profissional têm procurado ferramentas e metodologias capazes de apoiar os diversos stakeholders na

identificação, análise e mitigação desses impactos, promovendo uma gestão mais eficiente e sustentável do ambiente construído [1].

Composto por um conjunto de fases interdependentes que se estendem desde a conceção até ao fim de vida dos edifícios, o ciclo de vida de uma edificação apresenta uma natureza complexa e uma significativa duração temporal. Segundo [2] a fase de Operação e Manutenção (O&M) é responsável pela maior parte das emissões de carbono e dos impactos ambientais ao longo do ciclo de vida do edifício, devido ao consumo de energia e às atividades de manutenção envolvidas, o que, ao longo do tempo, reforça a necessidade de adoção de estratégias de gestão eficazes e orientadas para o desempenho sustentável dos edifícios.

A literatura atual define o BIM como um conjunto de tecnologias, processos e princípios que permitem a vários intervenientes projetar, construir e operar uma instalação de forma colaborativa num espaço virtual ao longo de todo o ciclo de vida do ativo, suportando a partilha integrada de informação e a tomada de decisão com base em modelos digitais "vivos" e ricos em dados [3].

A gestão de edifícios, incluindo a operação diária, manutenção e gestão de espaços e ativos em organizações públicas, pode ser apoiada por metodologias BIM-FM que integram dados de edifícios com processos automatizados de verificação e apoio à decisão [4].

Com o objetivo de aumentar a eficiência organizacional, o *Facility Management* (FM) assume-se como uma função organizacional que integra pessoas, lugares e processos dentro do ambiente construído com o objetivo de melhorar a qualidade de vida das pessoas e a produtividade da atividade central de uma organização [5]. FM é uma abordagem integrada que ajuda organizações a operar, manter, melhorar e adaptar os edifícios e infraestruturas de forma eficiente para suportar os principais objetivos da organização [6].

A aplicação do BIM à Gestão de Instalações (BIM-FM) envolve o uso do modelo BIM como um repositório central de dados geométricos, paramétricos e alfanuméricos para apoiar a operação, manutenção e gestão geral das instalações ao longo de seu ciclo de vida, permitindo um melhor acesso a informações atualizadas sobre os ativos e processos de tomada de decisão mais eficientes [7]. Para Ismail (2023) [8] apesar de haver um número crescente de estudos na literatura sobre BIM e construção sustentável, de forma isolada, a investigação do BIM-FM voltado a essa temática é necessária para identificar o conhecimento existente, bem como as principais lacunas de pesquisa nessa área. Neste sentido, a incorporação de sistemas de monitorização ambiental baseados em sensores, capazes de recolher dados contínuos de parâmetros como temperatura e humidade, surge como uma oportunidade para enriquecer os modelos BIM com informação dinâmica, apoiando estratégias de manutenção preventiva, melhoria do conforto térmico e otimização do desempenho dos edifícios.

Assim, o presente trabalho, enquadra-se no estudo desenvolvido no âmbito de um projeto de doutoramento em Engenharia Civil, tem como objetivo explorar a integração do BIM-FM com sistemas de monitorização ambiental aplicados a edifícios públicos, nomeadamente edifícios escolares e um edifício institucional localizado no Distrito Federal, Brasil. Por meio da recolha e gestão de dados ambientais em tempo real e da sua integração em modelos BIM, pretende-se avaliar o potencial desta abordagem como ferramenta de apoio à gestão inteligente de ativos, contribuindo para uma maior eficiência operacional e sustentabilidade dos edifícios em fase de uso.

O presente artigo encontra-se estruturado em cinco secções principais. Após a introdução, a Secção 2 enquadra o uso do BIM associado ao *Facility Management* e à monitorização ambiental no contexto da gestão de ativos, abordando, em particular, a aplicação do BIM-FM

na fase de operação e manutenção, bem como os princípios da monitorização ambiental em edifícios públicos. A Secção 3 descreve a metodologia adotada, incluindo a arquitetura geral do sistema proposto, a tipologia dos edifícios monitorizados e o processo de integração dos dados ambientais nos modelos BIM. Na Secção 4 são apresentados e discutidos os resultados obtidos, destacando-se os resultados preliminares da monitorização, o contributo do sistema para o apoio à manutenção e à gestão do conforto, bem como os desafios associados à integração com plataformas de *Facility Management* existentes. Por fim, a Secção 5 sintetiza as principais conclusões do estudo e aponta perspetivas para trabalhos futuros.

2. BIM-FM e Monitorização Ambiental no Contexto da Gestão de Ativos

2.1 BIM-FM na Operação e Manutenção

Os benefícios mais frequentemente citados contemplam a capacidade de centralizar e organizar informação relevante para manutenção preventiva e corretiva, facilitar o acesso a dados como planos de manutenção, histórico de intervenções, manuais técnicos e listas de equipamentos, bem como permitir a integração com sensores e *digital twin*, os quais podem suportar manutenção preditiva. Esses usos proporcionam um trabalho mais eficiente, evita interrupções indesejadas e prolonga o tempo de disponibilidade dos equipamentos. O uso de BIM em FM também pode apoiar as estratégias de sustentabilidade, considerando que o BIM fornece uma base de dados útil para analisar a funcionalidade da edificação, bem como planear melhoramentos, aquando da sua necessidade [8].

Para [8] apesar dos potenciais benefícios, diversos limites atuais ainda dificultam a adoção generalizada do BIM-FM na operação e manutenção. As principais limitações identificadas na literatura incluem a falta de interoperabilidade entre plataformas BIM e sistemas de gestão de manutenção, problemas com a qualidade e transferência de dados após o término da construção e a fraca definição de requisitos de informação para FM durante as fases iniciais do projeto [9]. Acresce a isto a carência de competências específicas na equipa de FM e a ausência de padrões firmes que orientem a utilização de BIM na gestão de ativos, o que restringe o valor prático da sua utilização em contextos reais de operação predial [10].

No que diz respeito ao estado da adoção em edifícios públicos, a literatura mais recente mostra que a implementação do BIM-FM ainda se encontra num estágio inicial e desigual quando comparada com o setor privado. Relatórios e revisões sistemáticas demonstram que, embora haja crescente interesse em utilizar BIM para FM em órgãos governamentais e organizações públicas, este ainda não tem sido apoiado por políticas e abordagens integradas específicas, refletindo-se num desenvolvimento embrionário e fragmentado de práticas e conhecimento. Essa lacuna é particularmente visível em estudos que investigam a aplicação de BIM-FM em edifícios públicos, como escolas e hospitais, onde se identificou uma utilização limitada e falta de padronização nos métodos de implementação [11].

Quanto à integração com processos de manutenção preventiva e corretiva, os trabalhos recentes salientam que o BIM-FM pode facilitar a evolução das estratégias tradicionais de manutenção. O uso de modelos BIM conectados a sistemas de manutenção ou a sensores *IoT (Internet of Things*) permite transitar de uma abordagem reativa — na qual a manutenção só ocorre após falha — para abordagens preventiva e preditiva, através da consulta sistemática de dados e histórico dos ativos para o planeamento de inspeções e intervenções programadas. A literatura destaca, no entanto, que a integração efetiva com sistemas existentes de manutenção ainda é

limitada pela falta de *frameworks* interoperáveis e dificuldades técnicas ligadas à exportação e atualização contínua de informação nos modelos BIM [11] [7].

2.2 Monitorização Ambiental em Edifícios Públicos

A temperatura e a humidade são determinantes críticos para o conforto térmico dos ocupantes em edifícios, influenciando diretamente o bem-estar, a saúde e a produtividade dos seus utilizadores. Estudos recentes mostram que o conforto térmico interno depende não só da temperatura do ar, mas também da humidade relativa e de fatores como a velocidade do ar e a temperatura radiante média dos ambientes, sendo estes parâmetros essenciais para promover condições térmicas adequadas em espaços interiores. A literatura demonstra que um ambiente fora dos limites de conforto pode causar desconforto, reduzir o desempenho dos ocupantes e aumentar a probabilidade de respostas fisiológicas adversas, o que é especialmente relevante em edifícios públicos onde a permanência prolongada de pessoas é frequente [12].

As variações de temperatura e humidade também impactam a durabilidade dos materiais de construção e a integridade técnica das estruturas. Estudos recentes sobre regime termo higrométrico demonstram que ciclos repetidos de aquecimento, arrefecimento e mudanças de humidade podem acelerar processos de emissão de compostos orgânicos voláteis (VOC's) e influenciar a difusão de humidade nas superfícies internas, o que pode levar à degradação de materiais, aumento de emissão de agentes químicos e redução da vida útil de componentes construtivos. Entender estes efeitos é fundamental para planos de manutenção e reabilitação em edifícios públicos, especialmente em contextos de monitorização contínua [13].

A monitorização de temperatura e humidade em espaços públicos também está intrinsecamente ligada à saúde dos ocupantes e ao uso seguro dos espaços. Condições interiores inadequadas podem resultar em desconforto, efeitos adversos à saúde como irritações respiratórias, fadiga ou aumento da propagação de agentes biológicos, e influenciar negativamente a experiência de uso, especialmente em escolas, hospitais e bibliotecas [14]. A monitorização contínua permite não só garantir níveis adequados de conforto e saúde, mas também basear decisões de operação e manutenção que favoreçam ambientes interiores mais saudáveis e seguros.

A monitorização ambiental tem sido aplicada em diversos estudos de edifícios públicos para avaliar e melhorar a qualidade dos ambientes interiores. Por exemplo, trabalhos recentes em escolas demonstraram como a monitorização contínua de temperatura e humidade em inúmeras salas de aula pode revelar variações significativas de condições térmicas entre espaços, permitindo priorizar intervenções como melhoria da climatização, ventilação ou controlos específicos para cada sala [15]. Esses dados também apoiam decisões sobre investimentos em sistemas HVAC, assegurando que os ambientes escolares atendam às necessidades de conforto e saúde dos estudantes e professores em diferentes climas e tipos de ocupação.

Para [14], a integração da monitorização ambiental com os processos de operação e manutenção (O&M) em edifícios públicos facilita decisões mais informadas e proativas. Dados contínuos de temperatura e humidade permitem identificar padrões de desempenho de sistemas HVAC, antecipar necessidades de manutenção preventiva e corrigir condições adversas antes que afetem o conforto ou a integridade física das estruturas. Em escolas e outras instituições públicas, tal monitorização pode orientar a otimização de políticas de ventilação, programação de intervenções, atualização de sistemas técnicos e até suportar a elaboração de relatórios de desempenho ambiental que fundamentem estratégias sustentáveis de O&M.

3. Metodologia

3.1 Arquitetura Geral do Sistema

De forma simplificada, a arquitetura do sistema é ordenada da seguinte forma (Figura 1):

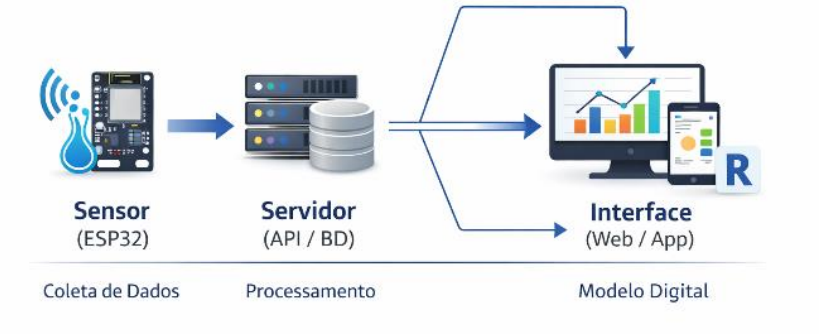


Figura 1 – Arquitetura do sistema

A coleta de dados utilizada no sistema idealizado na pesquisa e empregado para fins de monitorização ambiental é composto por uma *breadboard* de 400 pinos, um microprocessador ESP 32 CH340C WROOM e um sensor DHT 22, conforme figura abaixo (Figura 2).

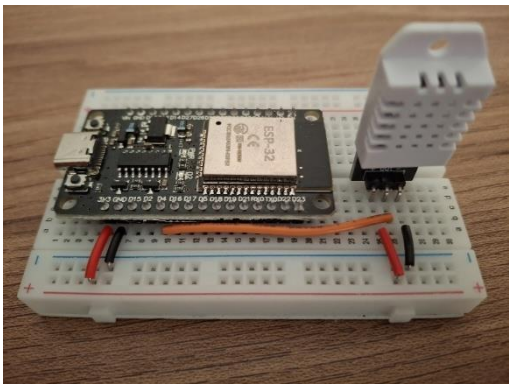


Figura 2 – Sistema de coleta de dados

O microprocessador ESP32 CH340C opera em um *clock* máximo de 240 MHz.
O uso dos sensores DHT 22 permite que sejam efetuadas medidas de temperatura entre -40º C e +80º C e umidade entre 0% e 100%. Sendo a precisão da temperatura ±0,5 °C (resolução ~0,1 °C) e da umidade ±2 % RH (resolução ~0,1 % RH).
A transmissão de dados é realizada por meio de protocolo *Wi-Fi*, o qual é transmitido para um banco de dados no provedor *Hetzner*. Para uma melhor visualização dos dados monitorizados, foram desenvolvidos *dashboards* que podem ser acessados conforme a seguir na Tabela 1:

Tabela 1 – Tipologias e endereços dos *dashboards*.

LOCAL	**ENDEREÇO**
Núcleo de Atendimento Jurídico – Paranoá (NAJ)	http://65.109.224.236/dht22_project/chart22_naj.php
Escola CED – Mangueiral	http://65.109.224.236/dht22_project/chart22_ced.php
Escola CEPI – Vila Telebrasília	http://65.109.224.236/dht11_project/chart_cepi.php; http://65.109.224.236/dht22_project/chart22_cepi.php

3.2 Tipologia dos Edifícios Monitorizados

Os edifícios monitorizados pertencem a categoria dos edifícios de serviços, sendo duas escolas e um destinado a assistência jurídica.

Núcleo de Atendimento Jurídico – Paranoá (NAJ)	Escola CED – Mangueiral	Escola CEPI – Vila Telebrasília
		

Figura 3 – Alçados das edificações

O NAJ é uma edificação térrea, com aproximadamente 342m², construída em 1997 e como início de atividades em 1998. Já a escola CED é uma edificação composta por rés do chão e 1º andar, com aproximadamente 4.968,79 m² de área, construída em 2024 e com o início de atividades em 2025. E por fim, o CEPI também é uma edificação térrea, com aproximadamente 1506,44 m², construída em 2024 e com o início de atividades em 2025.

Para cada um dos edifícios monitorizados, foi idealizada a instalação de dois conjuntos (ESP32 + sensor), totalizando seis pontos de coleta de dados. O NAJ conta com dois sistemas ESP32 + DHT 22 que iniciou as medições em 09/05/2025, efetua medições em dois ambientes (uma sala técnica para equipamentos informáticos e uma secretaria administrativa) ambos estão em plena operação até a presente data. Já a Escola CED também conta com dois sistemas ESP32 + DHT 22 que iniciou as medições em 29/04/2025, efetua medições em dois ambientes (uma sala técnica para equipamentos informáticos e um depósito de alimentos) ambos em plena operação até a presente data. Por fim, a escola CEPI inicialmente contou com um sistema composto por ESP32 + DHT11 o qual passou a monitorizar os dados a partir do dia 15/05/2025, a efetuar medições em duas salas de aula. Tais medições perduraram até o dia 10/10/2025 aquando por razões de ajustes técnicos, foram substituídos por conjuntos ESP32 + DHT22 em 28/10/2025, conjuntos estes semelhantes aos ora informados para o NAJ e o CED.

A partir da análise dos dados de monitorização, mediante observação do *dashboard da Escola CED,* que evidenciaram valores elevados de temperatura associados a níveis reduzidos de humidade relativa, especialmente em determinados períodos do ano, foi implementada uma ação corretiva com vista à melhoria das condições ambientais interiores. Nesse contexto, em cada uma das salas monitorizadas, procedeu-se à instalação de humidificadores de ar em cada

sala de aula. Esta intervenção teve como objetivo mitigar os efeitos da baixa humidade, contribuindo para a melhoria do conforto térmico e das condições de uso dos espaços.

4. Resultados e Discussão

Os dados coletados foram consolidados e analisados a partir da determinação dos valores mínimo, médio e máximo, possibilitando a caracterização dos níveis de conforto térmico aos quais os utilizadores estão expostos. **O período de coleta compreendeu os meses de abril de 2025 a janeiro de 2026**, e os respetivos resultados são apresentados nas figuras a seguir.

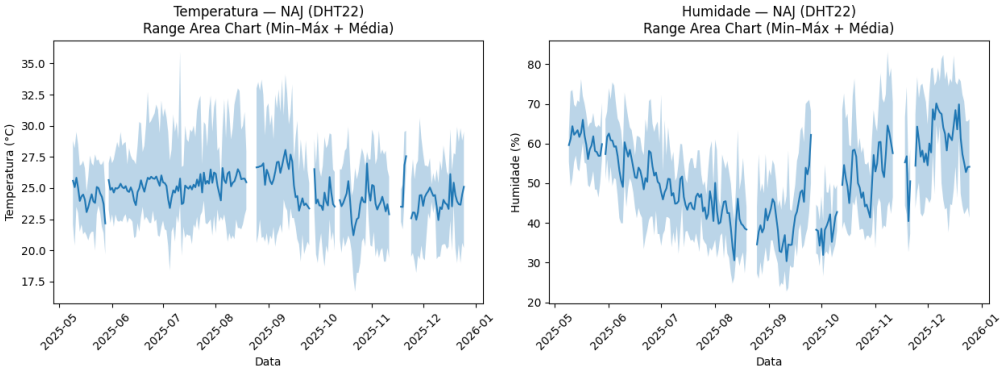


Figura 4: Resultados de temperatura (esquerda) e humidade no NAJ (direita).

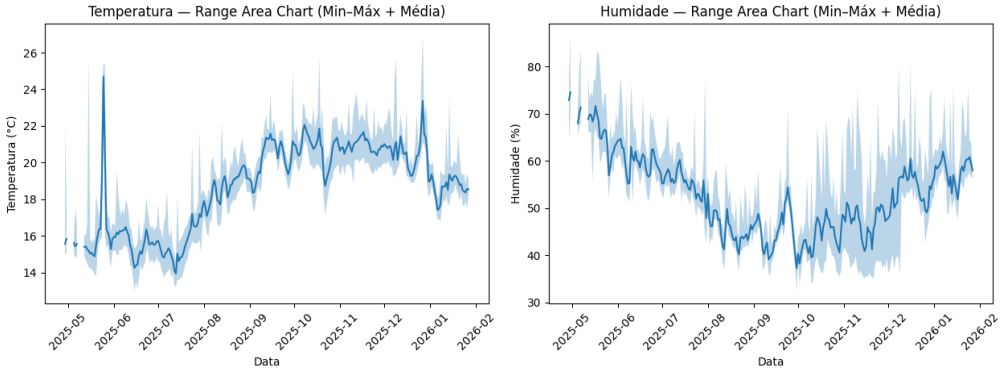


Figura 5: Resultados de temperatura (esquerda) e humidade no CED (direita).

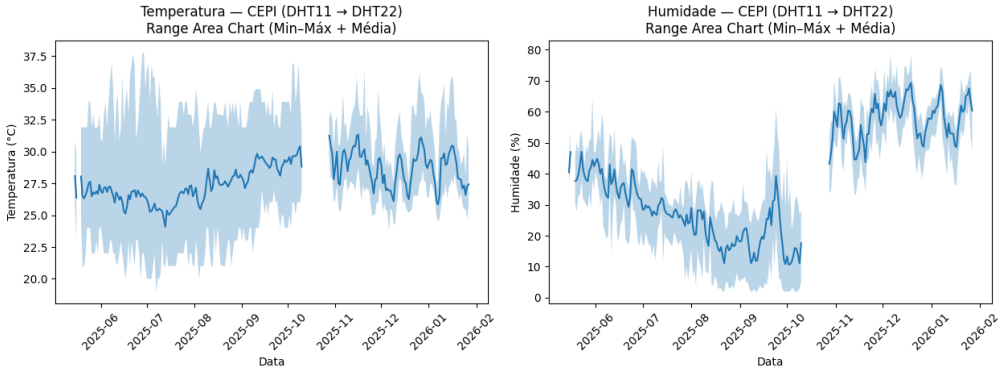


Figura 6: Resultados de temperatura (esquerda) e humidade no CEPI (direita).

As séries temporais de temperatura e humidade foram representadas por gráficos do tipo *Range Area Chart*, agregados por dia, unificando medições provenientes de sensores DHT11 e DHT22. A área sombreada indica a variação diária entre valores mínimo e máximo, enquanto a linha central representa a média.

A fim de possibilitar uma interpretação adequada dos dados apresentados, torna-se necessário o esclarecimento dos pormenores inerentes a cada edificação analisada. No NAJ, os ambientes monitorizados permanecem em uso ininterrupto de ar-condicionado, regulado à temperatura de 16 °C. A sala técnica do NAJ caracteriza-se como um ambiente sem circulação regular de pessoas, enquanto a secretaria administrativa é ocupada continuamente por quatro utilizadores durante o horário de funcionamento. Na Escola CED, os ambientes monitorizados também são climatizados à temperatura de 16 °C; a sala técnica apresenta igualmente ausência de circulação regular de pessoas, e o depósito de alimentos é acessado apenas de forma esporádica. Por fim, na escola CEPI, os ambientes monitorizados não são climatizados e, durante o horário de funcionamento, cada sala é frequentada por uma professora e doze crianças.

Esclarecidos os pormenores anteriormente descritos, infere-se, a partir da análise dos gráficos, um aumento progressivo da temperatura e uma diminuição da humidade a partir dos meses de julho, comportamento típico das condições climáticas da cidade de Brasília/DF. Observa-se ainda a ausência de dados em determinados períodos de monitorização. Verifica-se que, para a escola CEPI, os valores mínimo, médio e máximo de temperatura são numericamente superiores, enquanto os correspondentes valores de humidade são inferiores. Ademais, identifica-se um pico de temperatura na escola CED no mês de maio, associado ao facto de a porta do ambiente monitorizado ter permanecido aberta durante vários dias.

Atualmente, os dados coletados são integrados aos modelos BIM por meio de procedimentos manuais, mediante a edição de parâmetros compartilhados (Shared Parameters) no ambiente do Autodesk Revit. Especificamente, são atualizados os parâmetros FM_Temp_Max_Dia, FM_Temp_Min_Dia, FM_Temp_Media_Dia, FM_Humi_Max_Dia, FM_Humi_Min_Dia e FM_Humi_Media_Dia, associados à família “Monitor de Dados Ambientais”, desenvolvida para representar pontos de monitorização nos ambientes analisados. Atualmente, estes parâmetros não estão ainda mapeados diretamente para propriedades específicas do modelo IFC, sendo esta interoperabilidade considerada como etapa futura do desenvolvimento.

Paralelamente, está em desenvolvimento uma API em linguagem C#, a ser implementada no Revit. A API estabelecerá a ligação entre a base de dados no servidor Hetzner e o modelo BIM no *Autodesk Revit*, iniciando com a consulta e extração dos dados ambientais. Em seguida, realiza o tratamento e agregação dos valores (máximos, mínimos e médias) em diferentes escalas temporais. Posteriormente, identifica o elemento paramétrico correspondente no modelo, com base em identificadores como MAC Address ou código do espaço por meio da classe FilteredElementCollector oriunda da biblioteca Revit API.dll, e executa o mapeamento dos dados para os parâmetros FM. Por fim, atualiza automaticamente os parâmetros no modelo BIM e regista a operação para efeitos de validação e rastreabilidade.

5. Conclusões

Este estudo analisou uma proposta de integração do BIM-FM com sistemas de monitorização ambiental baseados em sensores *IoT*, aplicada a edifícios públicos em fase de operação, nomeadamente duas escolas e um edifício institucional no Distrito Federal, Brasil. A

investigação demonstrou o potencial desta abordagem como suporte à gestão de ativos, ao conforto térmico e à sustentabilidade operacional.

O principal contributo do trabalho consiste na implementação de uma arquitetura de monitorização ambiental de baixo custo, capaz de recolher e visualizar dados contínuos de temperatura e humidade, e no seu enquadramento no contexto do BIM-FM. Os resultados permitiram caracterizar o comportamento termo higrométrico dos edifícios, identificar variações sazonais e situações pontuais anómalas, evidenciando o valor destes dados para apoiar decisões de operação e manutenção.

Considerando a intervenção efetuada na Escola CEPI, a adoção daquela medida ilustra o potencial da monitorização ambiental contínua como ferramenta de apoio à tomada de decisão em operação e manutenção, permitindo a identificação de problemas reais e a implementação de ações práticas baseadas em dados objetivos.

Os resultados obtidos sinalizam para futuro potencial da integração entre BIM-FM e monitorização ambiental como ferramenta de apoio à gestão inteligente de edifícios públicos. A incorporação de dados dinâmicos provenientes de sensores enriquece os modelos BIM tradicionalmente estáticos, aproximando-os de uma lógica de gestão baseada no desempenho real dos edifícios e contribuindo para estratégias mais proativas de O&M.

Entre as principais limitações destacam-se o número reduzido de edifícios e pontos de monitorização, a análise restrita a dois parâmetros ambientais (temperatura e humidade) e a integração ainda limitada com sistemas comerciais de *Facility Management*. Adicionalmente, ocorreram interrupções pontuais na recolha de dados associadas a ajustes técnicos dos equipamentos.

Como desenvolvimentos futuros, propõe-se a expansão do sistema com a inclusão de mais sensores e novos parâmetros ambientais, a integração com plataformas comerciais de FM, a implementação de mecanismos de automação de ações baseadas nos dados monitorizados e a aplicação da abordagem a outros tipos de edifícios, de modo a avaliar a sua escalabilidade e generalização.

Ademais, está em desenvolvimento uma aplicação destinada à atualização periódica, no modelo BIM, dos dados coletados pelos sensores. Simultaneamente, desenvolve-se uma segunda aplicação com a finalidade de viabilizar a visualização, em tempo real, do modelo BIM atualizado.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Defensoria Pública do Distrito Federal (DPDF) e à Secretaria de Estado de Educação do Distrito Federal (SEDF) pela colaboração e apoio prestados no desenvolvimento deste estudo. Este trabalho foi apoiado pela FCT/MCTES através de fundos nacionais no âmbito da Unidade de I&D Centro de Território, Ambiente e Construção (CTAC), com a referência UID/4047/2025 (https://doi.org/10.54499/UID/04047/2025).

Referências

[1] M. M. F. de Oliveira, A. F. Tavares, and M. A. Mortoni Silva, "Análise do ciclo de vida (LCA) aplicada à estrutura sustentável em projeto residencial," in *61º Congresso Brasileiro do Concreto - CBC2019*, 2019, pp. 1–16.
[2] Y. Hu, L. Xiang, and K. Shang, "The Research Review on Life Cycle Carbon Emissions in the Operational Process of Modular Buildings," *Buildings*, vol. 15, no. 12, p. 2085, 2025, doi: https://www.mdpi.com/2075-5309/15/12/2085.
[3] A. S. Borkowski, "A Literature Review of BIM Definitions: Narrow and Broad Views," *Technologies*, vol. 11, no. 6, 2023, doi: 10.3390/technologies11060176.
[4] A. Teixeira and S. Scheer, "BIM-FM como suporte à gestão de espaços de edificações públicas: uma aplicação de verificação automática de regras," *Gestão Tecnol. Proj.*, vol. 19, no. 2, pp. 79–104, 2024, doi: https://doi.org/10.11606/gtp.v19i2.20224.
[5] ISO - International Standards Organization, "Facility management - Vocabulary," vol. 2024. ISO, p. 4, 2024.
[6] M. T. Desbalo *et al.*, "Critical factors that influence the effectiveness of facility maintenance management practice in public university buildings in Ethiopia: an exploratory factor analysis," *Cogent Eng.*, vol. 11, no. 1, p. , 2024, doi: 10.1080/23311916.2024.2307150.
[7] L. J. Lovell, R. J. Davies, and D. V. L. Hunt, "Building Information Modelling Facility Management (BIM-FM)," *Appl. Sci.*, vol. 14, no. 10, 2024, doi: 10.3390/app14103977.
[8] N. A. A. Ismail *et al.*, "A Systematic Literature Review on BIM-based Facilities Management towards Sustainable Construction," *Chem. Eng. Trans.*, vol. 106, pp. 385–390, 2023, doi: 10.3303/CET23106065.
[9] W. K. Yieu *et al.*, "Adoption of Building Information Modeling (BIM) in Facilities Management (FM) Practices in Malaysia," *Int. J. Res. Innov. Soc. Sci.*, vol. 8, no. 14, p. 6, 2025, doi: https://dx.doi.org/10.47772/IJRISS.2024.814MG0047.
[10] P. Gordo-Gregorio, H. Alavi, and N. Forcada, "Decoding BIM Challenges in Facility Management Areas: A Stakeholders' Perspective," *Buildings*, vol. 15, no. 5, pp. 1–23, 2025, doi: 10.3390/buildings15050811.
[11] L. Pinti, R. Codinhoto, and S. Bonelli, "A Review of Building Information Modelling (BIM) for Facility Management (FM): Implementation in Public Organisations," *Appl. Sci.*, vol. 12, no. 3, 2022, doi: 10.3390/app12031540.
[12] H. Jain, "Critical insights into thermal comfort optimization and heat resilience in indoor spaces," *City Built Environ.*, vol. 2, no. 1, 2024, doi: 10.1007/s44213-024-00038-z.
[13] Y. Zhu, S. Guo, and W. Liang, "A literature review investigating the impact of temperature and humidity on volatile organic compound emissions from building materials," *Build. Environ.*, vol. 262, no. June, p. 111845, 2024, doi: 10.1016/j.buildenv.2024.111845.
[14] T. Rus, *et al.*, "Data-driven environments: Evaluating IoT sensors and KNX protocol for monitoring indoor conditions in educational facilities," *Front. Built Environ.*, vol. 11, no. November, 2025, doi: 10.3389/fbuil.2025.1688582.
[15] M. P. Botana Martinez *et al.*, "Rethinking heat in thousands of school classrooms through continuous monitoring and novel exposure metrics," *Indoor Environ.*, vol. 2, no. 3, pp. 100–105, 2025, doi: 10.1016/j.indenv.2025.100105.

12345

INTEGRAÇÃO DE MODELOS BIM EM REALIDADE AUMENTADA WEB: DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO COMPARATIVA DE MÉTODOS DE REGISTO ESPACIAL

J. Torcato Almeida, Mário Coelho, José Granja, Miguel Azenha

ptBIM

INTEGRAÇÃO DE MODELOS BIM EM REALIDADE AUMENTADA WEB: DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO COMPARATIVA DE MÉTODOS DE REGISTO ESPACIAL

J. Torcato Almeida [(1)], Mário Coelho [(2)] , José Granja [(3)] , Miguel Azenha [(4)]

(1) Instituto CCG/ZGDV, Guimarães, Portugal, 0009-0001-3083-6496
(1) Instituto CCG/ZGDV, Guimarães, Portugal, 0000-0002-6356-6963
(2) ISISE, ARISE, Departamento de Engenharia Civil, Guimarães, PT, 0000-0002-0858-4990
(2) ISISE, ARISE, Departamento de Engenharia Civil, Guimarães, PT, 0000-0003-1374-9427

Resumo
A integração de *Building Information Modelling* (BIM) com Realidade Aumentada (AR) apresenta-se como uma abordagem promissora para a visualização de modelos 3D em contexto real, embora a precisão do registo continue a representar um desafio nas soluções *WebAR*. Este trabalho apresenta o desenvolvimento e avaliação comparativa de três protótipos baseados em diferentes métodos de registo: geolocalização, *Global Navigation Satellite System* (GNSS), deteção de planos com ancoragem manual e marcadores visuais customizados. A análise considerou precisão, estabilidade, robustez em ambiente urbano e dependência de condições externas. Os resultados indicam que a geolocalização apresenta limitações significativas de precisão, enquanto a deteção de planos oferece melhor equilíbrio entre estabilidade e aplicabilidade, sendo os marcadores particularmente adequados para verificações localizadas em ambientes controlados. As abordagens estudadas demonstram potencial no apoio aos processos urbanísticos, melhorando a compreensão espacial dos projetos.

1. Introdução

A recente transformação dos processos urbanísticos, nomeadamente dos processos de licenciamento, planeamento urbano e discussão pública, tem vindo a ganhar relevância em múltiplos países [1]–[9]. Esta transformação vem, em parte, através de reformas legislativas, avanços no software de modelação paramétrica tridimensional, mas também através da crescente exigência de transparência e proximidade entre as administrações públicas e a população. Neste contexto, o *Building Information Modelling* (BIM), aliado à tecnologia de Realidade Aumenta (AR), tem se destacado como uma forma eficaz de representar os projetos urbanos de forma contextualizada, intuitiva e imersiva, superando as limitações dos meios

tradicionais de comunicação urbanística, como plantas ou alçados 2D, maquetas físicas, ou cartazes em obra [10]–[12].

Nas últimas décadas, vários estudos internacionais exploram a aplicação de AR em processos participativos. Boos, U, *et. al* [12] avaliaram a utilização de uma aplicação AR para visualização de um projeto escolar na cidade de Zurique, comparando-a com o método tradicional baseado em alçados de construção. Os resultados revelaram que a AR aumentou a perceção de escala, e a capacidade de os participantes imaginarem o aspeto final do edifício, sobretudo quando utilizado um modelo com maior nível de informação necessário (LOIN). Embora a precisão percebida entre os diferentes LOIN não tenha apresentado diferenças significativas, o estudo validou que alguns elementos visuais, como a cor e o detalhe exterior das fachadas favorecem a compreensão do edifício. Ao mesmo tempo, evidenciou limitações clássicas da AR, como a tendência para subestimar as distâncias reais em alguns casos.

Adicionalmente, outros estudos analisaram o papel da AR como promotor da participação pública nos processos urbanísticos [11]–[14]. Outros estudos aplicaram AR para promover comportamentos relacionados com economia circular, onde foi demonstrado que a AR pode de facto aumentar a eficácia e motivação dos utilizadores, mesmo entre indivíduos sem elevada literacia tecnológica [7]. A inclusão social, a democratização do acesso à informação e a capacidade da AR em tornar conteúdo técnico mais acessível são aspetos também confirmados pelos autores.

Também em áreas como a da energia urbana, foi demonstrado que a AR facilita a interpretação dos dados sobre consumos e produção de energia, através da associação de informação abstrata a elementos físicos do ambiente. Estes autores verificaram que a visualização através de AR torna estes tópicos mais intuitivos, permitindo facilmente compreender as diferentes categorias de *feedback* energético, reforçando a importância da contextualização espacial que a AR proporciona [15].

Em Portugal, este movimento tem sido impulsionado por iniciativas públicas e administrativas e enquadramentos regulamentares recentes que promovem a adoção progressiva do BIM em contexto de licenciamento urbanístico, em particular em obras públicas e em processos associados ao planeamento e controlo urbanístico [16]. A recente introdução legislativa que obriga a utilização do BIM em projetos de arquitetura até 2030 reforça a necessidade de desenvolvimento de ferramentas que permitam, não apenas a produção destes modelos digitais, mas também a sua utilização prática para efeitos de validação e comunicação eficaz entre os diferentes intervenientes no processo urbanístico.

Tendo isto em conta, o desenvolvimento de aplicações de AR baseadas em *web* e tecnologias de código-aberto (*open-source*) promete abrir novas possibilidades para a visualização e interação com os modelos tridimensionais diretamente através de navegadores *web*, sem necessidade de instalação de aplicações dedicadas, permitindo o desenvolvimento de aplicações com custos de longo prazo reduzidos. Estas bibliotecas permitem então explorar abordagens mais acessíveis, multiplataforma e potencialmente escaláveis para utilização nestes processos públicos, nomeadamente em contexto de licenciamento e inspeção urbanística.

Portanto, o presente artigo tem como principal objetivo estudar e comparar 3 diferentes abordagens baseadas em web para a visualização de modelos BIM através de AR, recorrendo exclusivamente a tecnologias abertas (*open-source*) e baseadas em *web*. Para este efeito, foram desenvolvidos e analisados 3 protótipos, desenvolvidos com recurso a duas bibliotecas distintas. Estes protótipos distinguem-se entre si pelo método de posicionamento do modelo (registo do modelo).

Posto isto, o presente artigo encontra-se estruturado da seguinte forma: i) a secção 2 apresenta a metodologia adotada, onde são expostos os *workflows*, a arquitetura e as tecnologias utilizadas no desenvolvimento de todos os protótipos; ii) a secção 3 detalha e analisa os protótipos desenvolvidos, organizados de acordo com a abordagem de registo do modelo; iii) finalmente, a secção 4 discute e conclui sobre os resultados obtidos, identificando as vantagens, limitações, e precisão de cada método, assim como discutindo a usabilidade e aplicabilidade prática de cada tecnologia estudada.

2. Metodologia

Nesta secção é descrita a abordagem adotada para o desenvolvimento dos protótipos *web* que permitem a visualização de modelos BIM através de AR. Aqui pretende-se detalhar a arquitetura de desenvolvimento, os fluxos de trabalho envolvidos e as ferramentas utilizadas. A metodologia adotada foi estruturada em duas vertentes principais: i) a definição da arquitetura de desenvolvimento e integração dos modelos BIM em ambientes *web*, e; ii) a seleção e utilização de bibliotecas de código aberto (*open-source*) que suportam diferentes estratégias de posicionamento de modelos (*model registration* – registo do modelo).

2.1 Arquitetura de Desenvolvimento

A Figura 1 apresenta um diagrama esquemático da arquitetura de desenvolvimento adotada, onde está detalhada a relação entre as etapas de preparação do modelo BIM, até à sua integração com cada um dos protótipos AR desenvolvidos.

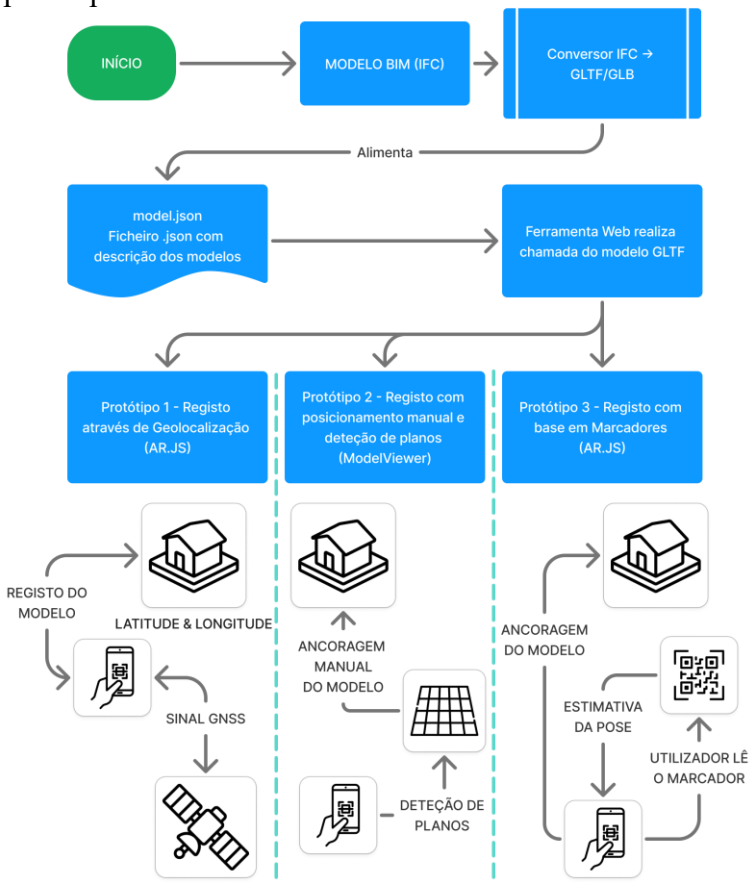


Figura 1 - Diagrama esquemático da arquitetura de desenvolvimento adotada.

O *workflow* geral pode ser descrito em três etapas principais: i) Preparação do modelo BIM, ii) desenvolvimento dos protótipos *web*, iii) integração AR e posicionamento do modelo no espaço real. Na primeira etapa os modelos tridimensionais, originalmente em formato *Industry Foundation Classes* (IFC), são exportados para o formato *Graphics Library Transmission Format/GL Transmission Format Binary* (GLTF/GLB) através de um conversor específico. Esta etapa permite criar modelos em formato coerente que alimentam posteriormente os 3 protótipos desenvolvidos. A referência a estes modelos é guardada num ficheiro em formato *JavaScript Object Notation* (JSON), que é utilizado na etapa seguinte. Neste ficheiro JSON é também guardada a sua posição no mapa. Os modelos GLTF/GLB são então integrados na página *web* desta forma. A etapa final consiste na integração destes modelos nos protótipos desenvolvidos, conforme o método de posicionamento do modelo escolhido, nomeadamente: i) geolocalização, onde o modelo é posicionado com base nas coordenadas *Global Navigation Satellite System* (GNSS); ii) Deteção de planos, seguida de ancoragem manual; iii) Através de marcadores físicos customizados.

2.2 Tecnologias Utilizadas

O desenvolvimento destes protótipos foi realizado essencialmente com recurso a 3 bibliotecas distintas: i) AR.js, uma biblioteca para AR na *web*, que inclui funcionalidades como *Image Tracking*, *Location Based AR* e *Marker Tracking* [17]; ii) *model-viewer*, uma biblioteca que permite exibir modelos 3D interativos na *web* e em AR [18]; iii) *Leaflet*, uma biblioteca que permite a criação de mapas interativos [19].

O AR.js é uma biblioteca *open-source* desenvolvida com base na tecnologia (*WebXR – Android*), mas que fornece suporte para ambientes *iOS* através de *WebGL*/*WebRTC*. Esta biblioteca está preparada para diferentes tipos de posicionamento dos modelos, nomeadamente, marcadores físicos e geolocalização via GPS do dispositivo. Destaca-se, pois, funciona diretamente sobre o *browser*, sem necessitar da instalação de aplicações adicionais. Também suporta múltiplos métodos de registo do modelo, incluindo o posicionamento por marcadores, geolocalização e *Image Tracking*.

O *model-viewer* é uma biblioteca *open-source* baseada em *Web Components* que permite a integração de modelos tridimensionais (em formato GLTF/GLB) em páginas *web*. Esta biblioteca permite a visualização dos modelos através de *WebXR*, mas também permite a utilização do *Scene-Viewer* (*Android*) e do *Quick Look* (*iOS*). Destaca-se pela sua compatibilidade com qualquer navegador moderno, pela fácil integração em plataformas *web* existentes. No entanto, esta biblioteca não possui flexibilidade no modo de posicionamento do modelo, estando limitada ao posicionamento manual com base na deteção de planos, e a interação com o modelo está limitada a funcionalidades básicas, não permitindo o *tracking* avançado de planos ou em ambientes complexos.

Além das bibliotecas supramencionadas, foi também utilizada a biblioteca *A-Frame* [20] que fornece suporte à renderização e manipulação de modelos 3D, incluindo suporte para AR. Foi também utilizada a biblioteca *Leaflet* [19] de modo a criar um mapa interativo que permite ao utilizador visualizar todos os modelos existentes disponíveis para visualização em AR através de um marcador que situa o modelo na sua posição exata no mapa.

3. Protótipos Baseados em Tecnologias *Web*

3.1 Protótipo 1 – AR.js com Posicionamento baseado em Geolocalização

O primeiro protótipo explora um método de registo baseado exclusivamente na geolocalização do modelo, extraída do modelo BIM em formato IFC. A partir deste modelo são extraídas as coordenadas de latitude e longitude, retiradas com base na representação *IfcMapConversion*. Este protótipo recorre à biblioteca AR.js [17], que suporta o registo de modelos baseada em localização (*Location-Based* AR). Após a conversão do modelo IFC para GLB, as coordenadas geográficas associadas ao ponto de registo do modelo são guardadas num ficheiro JSON. Quando o utilizador seleciona o indicador do modelo no mapa gerado com recurso ao *Leaflet*, ilustrado na Figura 2, a aplicação ativa o visualizador de AR correspondente. A posição atual do utilizador é então comparada com estas coordenadas, sendo o modelo posicionado de acordo com essa referência.

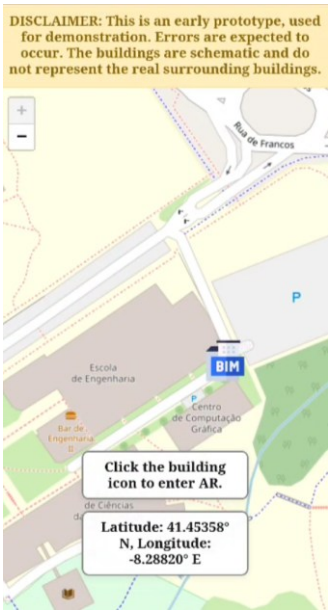


Figura 2 - Mapa com os indicadores dos modelos introduzidos.

Este método é versátil e simples, sendo que o processo prévio de manipulação dos modelos pode ser totalmente automatizado, pois é baseado apenas em informação já presente no modelo IFC, que pode ser definida nos Requisitos de Troca de Informação (EIR). Também não é necessária nenhuma preparação adicional do espaço físico. A possível integração com os sistemas de informação geográfica permite, teoricamente, a visualização de múltiplos projetos distribuídos em diferentes localizações.

No entanto, a precisão deste método está intrinsecamente dependente da qualidade do sinal GNSS disponível. Em contexto urbano, a precisão esperada situa-se entre os 5 e os 10 metros, variando em função da densidade do edificado circundante, das condições atmosféricas e do sinal recebido [21]. Embora seja possível a melhoria significativa destas precisões através de técnicas especializadas, como o *Real Time Kinematic* (*RKT*), isto acaba por limitar a aplicabilidade deste método em cenários onde seja exigida elevada precisão espacial. Observou-se ainda que pequenas variações na posição do utilizador podem provocar deslocamentos visíveis do modelo (*drift*). Portanto, embora o método seja de simples

implementação em *workflows* urbanísticos e facilmente escalável, a sua utilização prática revela-se limitada sem recurso a *hardware* especializado, à capacidade atual da tecnologia.

3.2 Protótipo 2 – *Model Viewer*

O segundo protótipo utiliza a biblioteca *Model-viewer* [18] para visualização do modelo, explorando a interface nativa de deteção de planos disponibilizado nos sistemas móveis. Este método combina a deteção automática de planos, registando o modelo automaticamente no plano horizontal, com o ajuste manual do modelo para o registo dos dois planos remanescentes. Ao clicar no indicador do modelo presente no mapa, o modelo pode ser visualizado e manipulado num ambiente tridimensional convencional. De seguida, é possível clicar num botão para iniciar a visualização AR. Isto inicia o sistema de deteção de planos horizontais. Uma vez identificado o plano válido, o modelo é colocado automaticamente sobre essa superfície. Por defeito, o *model-viewer* posiciona o modelo no seu centro, não sendo possível modificar este comportamento. De maneira a compensar este comportamento, e aproximar o modelo à posição real do edifício, foi implementada uma animação no ficheiro GLTF que desloca o modelo uma determinada distância. Esta distância foi definida manualmente, considerando a posição típica do utilizador em relação ao edifício.

Após o posicionamento inicial, o utilizador pode ajustar manualmente a posição e rotação do modelo, permitindo alinhar o modelo digital com o edifício físico existente. Este ajuste fino revelou-se eficaz, permitindo alcançar precisões de registo inferiores a 0,50m. Além disto, foi também observada uma excelente estabilidade da ancoragem inicial, com reduzido efeito de *drift*, mesmo para deslocações significativas do utilizador. A Figura 3 ilustra o método de ancoragem manual, assim como demonstra o posicionamento do modelo virtual em relação ao edifício real.



Figura 3 - Ajuste manual da ancoragem do modelo (esquerda); Modelo Virtual posicionado no modelo real (direita).

A principal limitação deste método reside na impossibilidade de introduzir diferentes métodos de registo, através do controlo direto do algoritmo de ancoragem, uma vez que o *Scene Viewer* e o *Quick Look* são ferramentas nativas com funcionalidades pré-definidas. Não é possível integrar métodos alternativos de registo ou aplicar correções adicionais.

3.3 Protótipo 3 – AR.js com Posicionamento Baseado em Marcador

O terceiro protótipo implementa um método de registo baseado em marcadores visuais, recorrendo novamente à biblioteca AR.js [17]. O processo inicia-se com a deteção do marcador através da câmara do dispositivo. Uma vez reconhecido o padrão visual, o sistema estima a pose do dispositivo, posicionando o modelo relativamente a essa referência. Nos testes realizados foi utilizado um marcador rotativamente assimétrico, de modo a reduzir as imprecisões na estimativa da orientação do plano.

Os testes realizados foram realizados com marcadores de pequenas dimensões (16x16 cm). Ficou demonstrado que estes marcadores não são suficientes para realizar o registo de modelos de grande escala, como edifícios completos, por dois motivos: i) a deteção do marcador não é possível a longa distância, distância essa que é necessária para observar com relevância o modelo em AR; ii) a estabilidade do posicionamento depende intrinsecamente do tamanho do marcador utilizado. Observou-se então que a estabilidade rotacional e a distância máxima de deteção estão diretamente relacionadas com o tamanho do marcador.

Em termos de precisão, este método é razoavelmente preciso (<1,00m), no entanto é necessário computar a distância da origem do modelo à posição exata do marcador. Esta relação nem sempre será a mesma, o que obriga a um procedimento manual de inserção desta distância. Também podem existir erros de colocação do marcador, o que pode acabar por causar erros indiretos de precisão do modelo de AR. Foi igualmente verificado que o contraste do marcador relativamente ao fundo em que ele está afixado influencia de forma significativa a deteção do marcador. Fundos mais claros e homogéneos favorecem o reconhecimento a maiores distâncias, enquanto superfícies escuras, ou visivelmente complexas, reduzem a robustez da deteção do marcador.

Este método permite atingir elevada precisão local, uma vez que o modelo é rigidamente associado ao marcador físico. No entanto, requer preparação prévia do local, incluindo a colocação física do marcador, e a definição desta posição no modelo BIM.

4. Discussão e Conclusões

A realização deste estudo consistiu no desenvolvimento e análise de 3 protótipos distintos para visualização de modelos BIM através de AR com recurso a ferramentas *web* e *open-source*. A análise comparativa, resumida na Tabela 1, demonstra que a escolha do método de registo tem impacto direto na precisão do registo e na instabilidade (*drift*) do modelo de AR quando sobreposto ao mundo real. Contudo, cada um dos casos apresenta diferentes metodologias de registo do modelo, e, por conseguinte, resulta num diferente conjunto de possíveis casos de uso.

Tabela 1 – Tabela comparativa dos diferentes protótipos desenvolvidos.

Critério	**Protótipo 1**	**Protótipo 2**	**Protótipo 3**
Tecnologia Base	AR.js (*Location-Based*)	*Model Viewer* (*Scene Viewer* / *Quick Look*)	AR.js (*Marker-Based*)
Registo de Modelos	Geolocalização (GNSS)	Deteção de Planos + Ancoragem Manual	Marcadores Customizados
Precisão Observada	5-10m	< 0,50m	< 1,00m
Instabilidade (*Drift*)	Elevada, especialmente em movimento	Muito reduzida	Rotacional média; Translação reduzida
Dependência de *Hardware*	Dispositivo móvel com câmara e sensor GNSS	Dispositivo móvel com câmara	Dispositivo móvel com câmara
Necessidade de Preparação do Local	Não requer preparação	Não requer preparação	Requer colocação dos marcadores
Dependência de Condições Externas	Precisão do sinal GNSS	Existência de superfícies detetáveis; Iluminação	Iluminação; Contraste do marcador com o edifício; Visibilidade do marcador
Robustez em Ambiente Urbano	Reduzida	Média Alta	Elevada
Possíveis Casos de Uso	Visualização preliminar de projetos de larga escala; Navegação exploratória baseada em localização	Análise comparativa entre o modelo BIM e o edificado; Auxílio na visualização da implantação do edificado.	Verificação técnica localizada; Visualização de instalações temporárias em ambientes controlados

O protótipo 1, revelou limitações significativas em termos de precisão. A variação entre 5 e 10 metros inviabiliza a sua utilização em cenários rigorosos de implantação ou inspeções técnicas, sem recurso a *hardware* especializado. A instabilidade observada durante o movimento do utilizador, reforça a dependência deste método da qualidade do sinal GNSS, particularmente problemático em ambientes urbanos densos. O protótipo 2 apresentou um melhor equilíbrio entre precisão e estabilidade. A deteção de planos permite uma ancoragem robusta do modelo, sendo posteriormente refinada com ajuste manual. Esta combinação revelou-se eficaz na redução do erro para valores inferiores a 0,50m, mantendo simultaneamente baixa a instabilidade do modelo (*drift*), mesmo após grande deslocamento do utilizador. O protótipo 3 demonstrou igualmente boa precisão de registo (<0,50m), e baixa instabilidade, especialmente

na componente translacional, registando alguma instabilidade rotacional, particularmente devido ao tamanho reduzido do marcador utilizado e ao baixo contraste entre a cor do marcador e a cor da fachada do edifício.
Os resultados obtidos indicam que não existe uma solução universalmente superior, mas sim abordagens mais adequadas a diferentes casos de uso. O protótipo 1 é particularmente adequado para visualizações exploratórias que não careçam de alta precisão no posicionamento, tal como apresentação preliminar de projetos de grande escala, onde esta precisão não seja determinante. O protótipo 2 demonstra maior adequação a cenários de confirmação para validações em obra, permitindo alinhar o modelo ao edificado com um erro real reduzido, no entanto nunca substituindo os métodos tradicionais de verificação. O protótipo 3 revela-se mais indicado para verificações localizadas, nomeadamente na análise de elementos construtivos específicos, visualização de instalações temporárias em ambientes controlados.
Considerando isto, os resultados demonstram que: i) os métodos baseados em geolocalização (sem *hardware* especializado) apresentam precisão insuficiente para aplicações técnicas rigorosas, no entanto demonstram uma elevada escalabilidade e facilidade de utilização; ii) A combinação da deteção de planos com o ajuste manual constitui uma solução mais equilibrada em termos de precisão e baixa instabilidade (*drift*), mas exigem um utilizador mais experiente para realizar corretamente o ajuste da ancoragem do modelo; iii) Os sistemas baseados em marcadores permitem um registo do modelo preciso em contextos controlados, sendo particularmente adequados para validações mais localizadas, no entanto carecem de preparação do local e condições de visibilidade favoráveis.
É possível concluir que a *WebAR* constitui uma alternativa de baixo custo, acessível e escalável para visualização de modelos BIM. Estas soluções podem servir como ferramentas complementares aos processos urbanísticos. No licenciamento, permitem visualizar a implantação real dos projetos no local, facilitando a análise volumétrica e a verificação preliminar da conformidade. Em inspeções, podem apoiar a comparação entre licenciamento e o efetivamente executado. Na participação pública, melhoram a comunicação entre técnicos, promotores e munícipes, reduzindo ambiguidades associadas à leitura de desenhos 2D.

Agradecimentos

Este trabalho foi apoiado pela União Europeia no âmbito do *NextGenerationEU*, através de uma subvenção do Acordo de Parceria do Plano de Recuperação e Resiliência (PRR) da República Portuguesa, no âmbito do programa "Missão Interface", com o objetivo de financiar a componente base do Instituto CCG/ZGDV (Código de Operação n.º 03/C05-i02/2022.P5; Subvenção Total: 4 037 440,23 Euros).

Referências

[1] M. J. F. Silva, F. Salvado, P. Couto, and Á. V. e Azevedo, 'Roadmap Proposal for Implementing Building Information Modelling (BIM) in Portugal', *Open Journal of Civil Engineering*, vol. 06, no. 03, pp. 475–481, 2016.
[2] 'Project - CHEK – Change toolkit for digital building permit', 2025. [Online]. Available: https://chekdbp.eu/project-2/. [Accessed: 04-Jun-2025].
[3] 'BRISE-VIENNA', 2024. [Online]. Available: https://digitales.wien.gv.at/en/projekt/brise-vienna/. [Accessed: 31-May-2025].
[4] W. Yu, X. Zhou, D. Wang, and J. Dong, 'The Development and Construction of City Information Modeling (CIM): A Survey from Data Perspective †', *Applied Sciences*

(Switzerland), vol. 15, no. 9. Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI), 01-May-2025.
[5] D. Pfeiffer, S. Fischer, and R. Schneider, 'BIM checking software requirements in the scope of the Vienna building authority'.
[6] M. Hanzl, 'Information technology as a tool for public participation in urban planning: a review of experiments and potentials', *Des. Stud.*, vol. 28, no. 3, pp. 289–307, May 2007.
[7] T. Katika, I. Karaseitanidis, D. Tsiakou, C. Makropoulos, and A. Amditis, 'Augmented Reality (AR) Supporting Citizen Engagement in Circular Economy', *Circular Economy and Sustainability*, vol. 2, no. 3, pp. 1077–1104, Sep. 2022.
[8] K. Reaver, 'Augmented reality as a participation tool for youth in urban planning processes: Case study in Oslo, Norway', *Front. Virtual Real.*, vol. 4, 2023.
[9] S. M. Saßmannshausen, J. Radtke, N. Bohn, H. Hussein, D. Randall, and V. Pipek, 'Citizen-Centered Design in Urban Planning: How Augmented Reality can be used in Citizen Participation Processes', in *DIS 2021 - Proceedings of the 2021 ACM Designing Interactive Systems Conference: Nowhere and Everywhere*, 2021, pp. 250–265.
[10] A. De Jaeger and T. Swerts, 'Right to the digital Twin City? citizen participation and limits-by-design in Rotterdam's urban digital twin', *Cities*, vol. 168, Jan. 2026.
[11] M. Allen, H. Regenbrecht, and M. Abbott, *Smart-Phone Augmented Reality for Public Participation in Urban Planning*. ACM Digital Library, 2013.
[12] U. C. Boos, T. Reichenbacher, P. Kiefer, and C. Sailer, 'An augmented reality study for public participation in urban planning', *Journal of Location Based Services*, vol. 17, no. 1, pp. 48–77, 2023.
[13] S. Das, M. Wolf, P. Schmidt, and H. Sobke, 'Mental Workload in Augmented Reality-based Urban Planning Education', in *Proceedings - 2023 IEEE International Symposium on Multimedia, ISM 2023*, 2023, pp. 303–308.
[14] P. He, Q. C. Wang, H. Wang, J. Xue, H. X. Bao, G. Q. Shen, S. Guo, M. Ni, and S. Wang, 'From participation to partnership: A systematic review of public engagement in sustainable urban planning', *Environmental Impact Assessment Review*, vol. 117. Elsevier Inc., 01-Mar-2026.
[15] A. Francisco and J. E. Taylor, 'Understanding citizen perspectives on open urban energy data through the development and testing of a community energy feedback system', *Appl. Energy*, vol. 256, Dec. 2019.
[16] J. T. Almeida, 'BIM-AR Applications for Urban Planning: A Proposal for The Portuguese Context'.
[17] 'AR.js - Augmented Reality on the Web | AR.js'. [Online]. Available: https://ar-js-org.github.io/AR.js/. [Accessed: 15-Feb-2026].
[18] Google, 'Model-Viewer', *2018-2025*. [Online]. Available: https://modelviewer.dev/. [Accessed: 14-Aug-2025].
[19] Volodymyr Agafonkin, 'Leaflet - a JavaScript library for interactive maps'. [Online]. Available: https://leafletjs.com/. [Accessed: 18-Jun-2025].
[20] 'A-Frame – Make WebVR'. [Online]. Available: https://aframe.io/. [Accessed: 15-Feb-2026].
[21] J. Ratajczak, M. Riedl, and D. T. Matt, 'BIM-based and AR application combined with location-based management system for the improvement of the construction performance', *Buildings*, vol. 9, no. 5, 2019.

12345

BIM PARA GESTÃO DE ATIVOS EM INFRAESTRUTURA DE SAÚDE PÚBLICA: ESTUDO DE CASO DE RESPOSTA A FALHA CRÍTICA NO CENTRO DE PESQUISA, INOVAÇÃO E VIGILÂNCIA EM COVID-19 E EMERGÊNCIAS SANITÁRIAS (CPIVCES)/FIOCRUZ

Luiz Fernando da Silva, Ana Beatriz Alves Cuzzatti, Vinícius Peixoto Medina, Bruno Amorim de Souza

ptBIM

BIM PARA GESTÃO DE ATIVOS EM INFRAESTRUTURA DE SAÚDE PÚBLICA: ESTUDO DE CASO DE RESPOSTA A FALHA CRÍTICA NO CENTRO DE PESQUISA, INOVAÇÃO E VIGILÂNCIA EM COVID-19 E EMERGÊNCIAS SANITÁRIAS (CPIVCES)/FIOCRUZ

Luiz Fernando da Silva [(1)], Ana Beatriz Alves Cuzzatti [(2)], Vinícius Peixoto Medina [(3)], Bruno Amorim de Souza [(4)]

(1) Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, ID ORCID 0009-0004-1830-7622
(2) Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, ID ORCID 0009-0008-4733-9657
(3) Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, ID ORCID 0000-0003-0867-9081
(4) Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, ID ORCID 0009-0005-3034-452X

Resumo
A Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz) vem avançando na adoção do *Building Information Modeling* (BIM) para apoiar a operação e manutenção de ativos de infraestrutura. Este artigo apresenta um estudo de caso de aplicação do BIM para gestão de ativos no Centro de Pesquisa, Inovação e Vigilância em COVID-19 e Emergências Sanitárias (CPIVCES), edifício de aproximadamente 12.000 m² com laboratórios de biossegurança NB2 e NB3, construído com uso de BIM em 2021 [1]. Em agosto de 2025, ocorreu falha crítica em um transformador de 2500 kVA associado à alimentação elétrica do sistema HVAC, impondo risco operacional a ambientes controlados essenciais à pesquisa. A abordagem adotada integrou o modelo BIM *as-built* a dados históricos de manutenção preventiva e corretiva, articulados ao sistema supervisório de monitoramento em tempo real, apoiando a localização do ativo, análise de condição e histórico, planejamento de substituição e coordenação de manobras durante 21 dias de operação em contingência. Os resultados são apresentados como capacidades operacionais e informacionais observadas durante a resposta ao evento, com foco no suporte à tomada de decisão em infraestrutura crítica de saúde pública. O caso reforça a relevância do BIM orientado à operação e manutenção e contribui para a discussão sobre BIM 7D e gestão de ativos em organizações públicas de saúde.

1. Introdução

Infraestruturas públicas de saúde e pesquisa operam sob criticidade elevada, nas quais a confiabilidade de sistemas prediais e utilidades, como energia elétrica, água, gases e Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado (HVAC), influencia diretamente a continuidade dos serviços e das atividades de pesquisa. A qualidade e a eficiência do ambiente de trabalho são essenciais para o bem-estar e a produtividade dos colaboradores [2], condição acentuada em edifícios com ambientes controlados e laboratórios sujeitos a requisitos de biossegurança.

A indisponibilidade de sistemas críticos pode comprometer condições ambientais de operação e impor restrições técnicas, laborais e institucionais de elevada relevância.
No campo da Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação (AECO), o BIM tem sido progressivamente associado a ganhos de coordenação e rastreabilidade informacional ao longo do ciclo de vida dos ativos. No entanto, parte significativa das implementações permanece concentrada nas fases de projeto e obra, enquanto a consolidação do BIM orientado à operação e manutenção enfrenta barreiras estruturais — qualidade do modelo BIM *as-built*, governança de dados de ativos, integração com rotinas de manutenção e articulação com sistemas de supervisão e controle. Teicholz [3] destaca que a implementação do BIM para a gestão de *facilities* exige integração com múltiplos sistemas corporativos preexistentes — como sistemas de automação predial, GIS e ERP — e que organizações precisam desenvolver planos de implantação e padrões internos para que essa transição seja bem-sucedida, coexistindo com plataformas CAD e sistemas legados por um período considerável. Essa constatação, formulada na literatura internacional, encontra eco direto nos desafios observados no presente caso.
Este artigo parte do entendimento de que, em situações de falha crítica, o principal valor do BIM na operação não está necessariamente em permitir comparações contrafactuais do tipo "com BIM versus sem BIM" — frequentemente inviáveis pela ausência de linha de base —, mas em evidenciar as capacidades informacionais e operacionais efetivamente mobilizadas durante um evento real. Assim, o objetivo é descrever e analisar, por meio de um estudo de caso, como a integração entre um modelo BIM *as-built*, registros históricos de manutenção e monitoramento em tempo real apoiou a resposta a uma falha crítica de infraestrutura no Centro de Pesquisa, Inovação e Vigilância em COVID-19 e Emergências Sanitárias (CPIVCES), unidade da Fiocruz.

2. Objetivo e método

Este artigo analisa, por meio de estudo de caso real, o uso do BIM orientado à operação e manutenção como suporte à resposta técnica a uma falha crítica em infraestrutura de saúde pública, caracterizando as capacidades informacionais e operacionais mobilizadas na contingência e no planejamento de substituição do ativo.
Trata-se de estudo de caso único, descritivo-analítico, baseado em evento ocorrido em agosto de 2025 no CPIVCES, edifício de aproximadamente 12.000 m², com laboratórios NB2 e NB3, construído com uso de BIM em 2021. O evento envolveu falha crítica de um transformador de 2500 kVA vinculado ao sistema HVAC, com risco operacional sobre ambientes controlados essenciais à pesquisa. A coleta de dados abrangeu registros do modelo BIM *as-built*, histórico de manutenção preventiva e corretiva, dados do sistema supervisório e documentação técnica produzida durante os 21 dias de contingência. Os achados são apresentados como capacidades observadas no suporte à decisão e à coordenação técnica, sem comparações contrafactuais.

2.1 Fontes de dados e artefatos informacionais

2.1.1 Modelo BIM a*s-built* do edifício como referência espacial e de identificação do ativo

A Figura 1 apresenta a visão geral do modelo BIM *as-built* do CPIVCES, utilizado como referência espacial para identificação de áreas funcionais, sistemas prediais e ativos de infraestrutura relevantes à operação e manutenção.

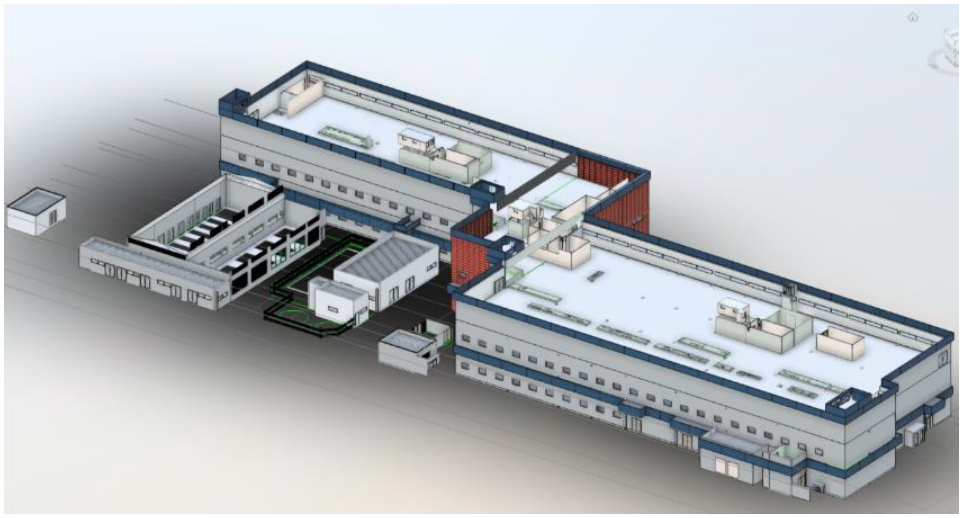


Figura 1: Visão geral do modelo *BIM as-built* do edifício CPIVCES

A Figura 2 detalha, no modelo BIM, a subestação do CPIVCES e a disposição dos principais ativos elétricos, incluindo transformadores, barramentos blindados, quadros de distribuição, sistemas de proteção e grupos geradores. Essa representação apoiou a identificação do transformador n.º 1, associado ao sistema HVAC, e dos sistemas correlatos impactados pela falha.

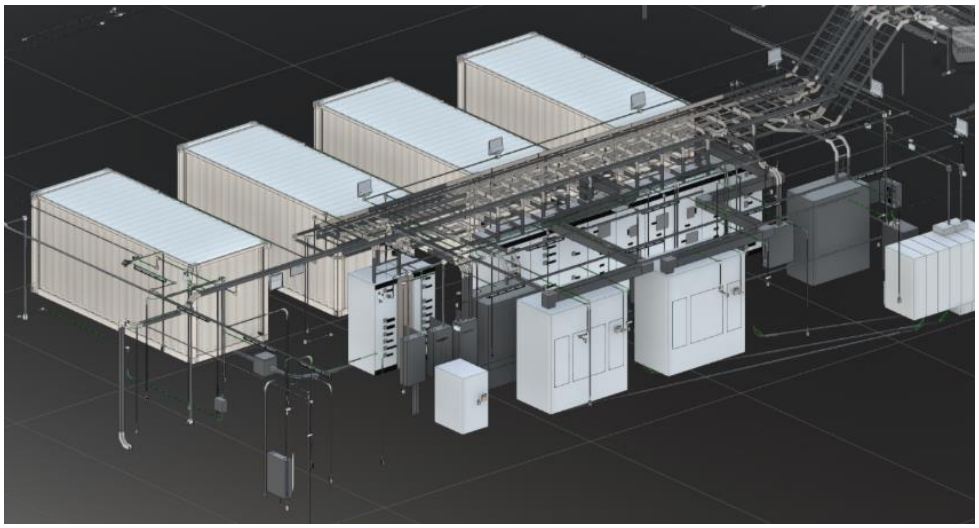


Figura 2: Ativos da sala dos transformadores e subestação na modelagem BIM.

2.1.2 Registros históricos de manutenção associados ao ativo e a sistemas correlatos.

A Tabela 1 sintetiza os planos de manutenção preventiva dos sistemas elétricos e da subestação do CPIVCES.

Tabela 1: Manutenção preventiva na subestação do CPIVCES.

Tipo de plano	Qtde
Manutenção preventiva de quadro elétrico	80
Manutenção preventiva semanal de subestações	62
Manutenção preventiva anual de subestações	1
Total	143

Extraídos do SGM entre dezembro de 2024 e fevereiro de 2026, os dados totalizam 143 procedimentos preventivos em quadros elétricos e rotinas de subestação, voltados ao diagnóstico operacional dos ativos e ao suporte a intervenções corretivas, tendo como balizamento técnico normas internacionais de baixa e média tensão [4], [5], proteção contra descargas atmosféricas [6] e segurança em serviços com eletricidade [7].
A Tabela 2 apresenta as principais ações corretivas registradas no mesmo período.

Tabela 2: Manutenção corretiva na subestação do CPIVCES.

Tipo de corretiva	Qtde
Manutenção em painel de banco de capacitores	4
Substituição de três fusíveis HH 200A classe 15/17,5kV.	1
Ajuste da corrente nominal do disjuntor geral da ETE	1
Operação da subestação e acionamento dos geradores do sistema HVAC.	1
Verificação e inspeção técnica do transformador n°1 devido a falha.	1
Total	8

As oito ocorrências corretivas incluíram substituição de fusíveis, ajustes em disjuntores, inspeções técnicas e operações emergenciais, parte delas associada à falha do transformador n.º 1, evidenciando sua criticidade para a continuidade das atividades de pesquisa.

2.1.3 Sistemas SGM e supervisório como suporte operacional em tempo real

A Figura 3 apresenta a interface do SGM utilizado para registro, hierarquização e acompanhamento das ordens de manutenção dos ativos do CPIVCES, em articulação com as informações do modelo BIM.

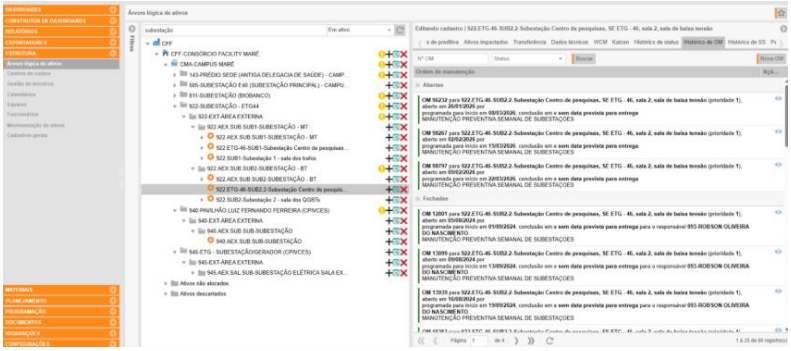


Figura 3: Interface do SGM para o gerenciamento dos ativos da edificação.

A Figura 4 apresenta a interface do sistema supervisório dos QGBT, com medições em tempo real associadas à operação e à qualidade da energia elétrica, como tensão, corrente, potência, fator de potência, frequência, temperatura, consumo acumulado e distorção harmônica [8], utilizadas na análise do comportamento elétrico da edificação durante a ocorrência.

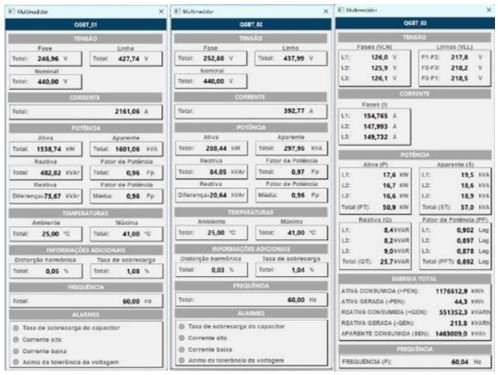


Figura 4: Interface do sistema supervisório dedicados às medições dos QGBT da edificação.

2.2 Procedimento de análise. Reconstrução cronológica do evento e da contingência.

Em uma manhã de agosto de 2025, o sistema supervisório registrou o acionamento automático dos grupos motogeradores responsáveis pelo suprimento de energia do CPIVCES. A análise preliminar considerou parâmetros elétricos monitorados, registros de eventos, comportamento das cargas críticas atendidas pelos geradores e localização de ativos no modelo BIM. A hipótese inicial considerou que perturbações na qualidade da energia da rede poderiam ter atingido limites de sensibilidade parametrizados nos dispositivos de proteção e controle, acionando os geradores como medida de contingência operacional e segurança das instalações.
Constatado que a ocorrência estava isolada à subestação do CPIVCES, procedeu-se à inspeção dos equipamentos de média tensão. A avaliação do cubículo indicou abertura dos fusíveis de proteção do transformador n.º 1 e avaria física nas bobinas de média tensão H2 e H3.

3. Resultados

3.1 Caracterização do evento e condições de contingência

O evento impôs restrições operacionais aos ambientes controlados do CPIVCES e exigiu 21 dias de operação em contingência até a substituição do equipamento. A Figura 5 apresenta o registro do QGBT-01 na data da ocorrência, indicando queda abrupta da corrente, de aproximadamente 1.750A para zero, acompanhada de redução significativa da tensão de linha.

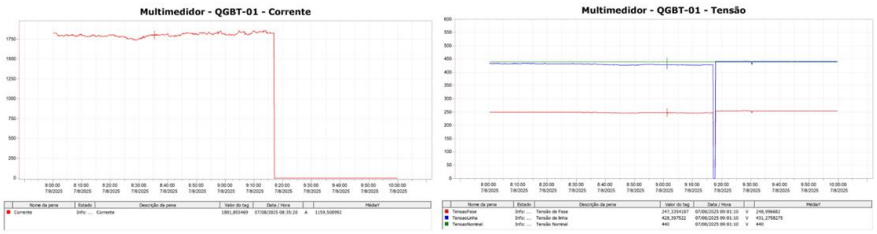


Figura 5 – Registro de corrente e tensão no QGBT 01 durante a ocorrência da falha

A análise integrada entre supervisório e modelo BIM não indicou, no momento da falha, sobrecarga, variação anormal da alimentação da distribuidora ou acionamento de carga de grande porte, reforçando a hipótese de avaria associada ao transformador n.º 1.

3.2 Uso do modelo BIM *as-built* para identificação, localização e caracterização

A Figura 6 evidencia o uso do modelo BIM *as-built* para identificação e localização do transformador n.º 1. Enquanto o supervisório registrou o evento em tempo real, o modelo contextualizou o ativo no espaço físico e, em conjunto com os registros do SGM (Tabelas 1 e 2), apoiou a comunicação entre equipes e a definição das frentes de intervenção, incluindo acesso, dimensões, interfaces com sistemas correlatos e requisitos iniciais para a substituição.
Após a detecção da falha pelo supervisório, em poucos minutos, o modelo BIM permitiu localizar o transformador n.º 1, com identificação da sala, seu gabinete e os sistemas correlatos impactados. A consulta ao histórico de manutenção no SGM, integrada aos atributos do modelo, permitiu verificar as últimas intervenções preventivas, incluindo inspeção semanal realizada três dias antes da falha e as corretivas registradas, apoiando a decisão técnica pela substituição imediata. O caso evidenciou, assim, ganhos de localização espacial, rastreabilidade histórica e coordenação visual em relação a fluxos informacionais e fragmentados.

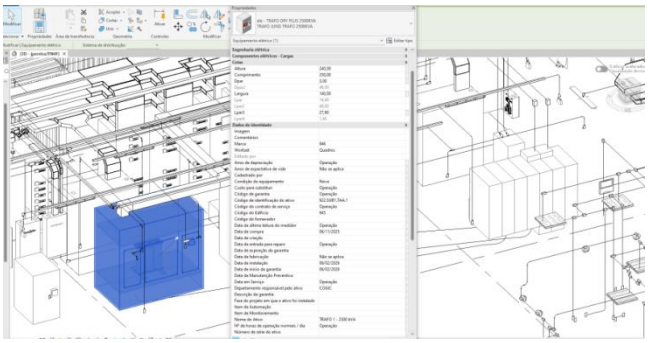


Figura 6 - Modelo BIM *as-built* como base de dados para operação e manutenção.

3.3 Planejamento da substituição e coordenação de intervenções

Nos primeiros sete dias de contingência, o CPIVCES operou apenas com o transformador n.º 2, responsável pelas cargas prediais e pelo sistema HVAC, exigindo contingenciamento com prioridade para laboratórios NB3 e salas com requisitos especiais de biossegurança. A integração BIM-supervisório apoiou o monitoramento, em tempo real, das demandas elétrica e térmica por zona funcional do edifício, subsidiando decisões diárias sobre operação plena ou restrições temporárias.
A partir do oitavo dia, a estratégia incluiu o acionamento programado dos geradores entre 11h e 16h, período de maior demanda térmica, permitindo o atendimento integral das cargas. O modelo BIM apoiou a identificação dos circuitos de transferência automática, a verificação operacional dos geradores e o mapeamento das zonas prioritárias de climatização. Nesse período, o supervisório registrou 14 acionamentos programados, coordenados a partir da leitura integrada das demandas operacionais e da setorização espacial do modelo.
Após 21 dias, o sistema elétrico foi normalizado com a instalação, por locação, de novo transformador n.º 1. O modelo BIM *as-built* apoiou a geração de esquemáticos e detalhes técnicos da instalação e foi atualizado com os dados do equipamento, como TAG, fabricante, potência e data de instalação, garantindo a rastreabilidade do ativo para futuras intervenções.

4. Discussão

A resposta à falha crítica no transformador de 2500 kVA do CPIVCES evidencia quatro contribuições principais do BIM orientado à operação em infraestrutura crítica de saúde pública. Em primeiro lugar, o modelo BIM *as-built* funcionou como referência espacial unificada, apoiando a localização do ativo, o planejamento da retirada, o mapeamento de acessos e a identificação de sistemas correlatos. Conforme Teicholz [3], essa visualização integrada reduz o tempo de resposta e melhora a coordenação entre equipes multidisciplinares em emergências.

A arquitetura de informação adotada baseou-se em TAG alfanumérico comum ao modelo BIM e ao SGM, permitindo consultas cruzadas automáticas entre as bases. Os atributos incluíram fabricante, potência nominal, tensão primária/secundária, data de instalação e localização espacial. A qualidade do modelo BIM *as-built* foi assegurada por procedimentos nas fases de comissionamento e validação de atributos pelas equipes de engenharia de manutenção, antes da entrada em operação. Persistem, contudo, desafios relacionados à atualização contínua do modelo, à capacitação das equipes e à padronização dos fluxos de trabalho entre SGM e BIM, compatíveis com barreiras descritas na literatura sobre BIM-FM [3], [11].

Em segundo lugar, a integração entre BIM e SGM proporcionou rastreabilidade histórica do ativo. O acesso aos 143 registros de manutenção preventiva e às 8 ocorrências corretivas subsidiou decisões sobre condição operacional prévia, cumprimento de rotinas e fundamentação técnica para substituição. Sacks et al. [9] estimam em 12,4% dos custos anuais de O&M os impactos da falta de interoperabilidade; o caso demonstra ganhos práticos quando essa integração é implementada.

Em terceiro lugar, a articulação com o sistema supervisório permitiu contextualizar espacialmente os dados monitorados em tempo real. A queda abrupta de corrente, tensão e potência, analisada em conjunto com o modelo BIM, apoiou o contingenciamento de cargas, o acionamento programado dos geradores e o monitoramento durante os 21 dias de operação em contingência.

Em quarto lugar, o caso reforça que a efetividade do BIM na operação depende menos da existência isolada do modelo e mais da governança da informação, incluindo identificação unívoca do ativo, atributos padronizados, atualização do modelo BIM *as-built* e integração com rotinas de manutenção. Conforme o BIM “Project Execution Planning Guide” [10], organizações devem desenvolver padrões internos com metas, usos e infraestrutura de suporte à implementação. Os ganhos observados sintetizam-se em eficiência informacional, coordenação técnica e resiliência operacional durante contingências.

5. Conclusão

Este artigo apresentou um estudo de caso real de aplicação do BIM orientado à operação e manutenção como suporte à resposta técnica e operacional a um evento de falha crítica em um ativo da infraestrutura de uma instituição de saúde. A análise do evento, estruturada a partir da integração entre modelo BIM *as-built*, registros históricos de manutenção e monitoramento em tempo real, evidenciou capacidades informacionais e operacionais relevantes para a gestão de ativos em ambientes críticos.

Os achados reforçam que o valor do BIM na operação não reside apenas na existência do modelo, mas na qualidade da governança da informação do ativo e na sua integração com as rotinas operacionais estabelecidas [3]. No caso analisado, o modelo BIM contribuiu para reduzir incertezas de localização, apoiar a comunicação entre equipes, contextualizar espacialmente dados do sistema supervisório e subsidiar decisões técnicas durante os 21 dias de operação em contingência. A associação com registros históricos de manutenção ampliou a rastreabilidade do ativo e fortaleceu a consistência da análise técnica, em consonância com a literatura sobre BIM aplicado à gestão de instalações [9], [10].

O estudo também evidencia que a efetividade do BIM para operação e manutenção depende da qualidade dos dados gerados nas fases anteriores do ciclo de vida do empreendimento, especialmente da atualização do modelo *BIM as-built*, da identificação unívoca dos ativos, da padronização de atributos e da integração com sistemas de gestão da manutenção e supervisão. Como limitação, destaca-se a ausência de linha de base para mensuração formal de ganhos percentuais decorrentes do uso do BIM, limitação inerente a eventos reais não controlados. Também se reconhece a necessidade de maior detalhamento futuro sobre padrões de governança, arquitetura da informação e integração de dados entre BIM, SGM e sistemas supervisórios.

Como implicação prática, recomenda-se que iniciativas de BIM para gestão de ativos em saúde pública priorizem: a padronização do cadastro de ativos com TAGs unívocas e atributos padronizados segundo COBie; a atualização regular dos modelos BIM *as-built*; a integração planejada entre BIM, SGM e sistemas supervisórios; a capacitação contínua das equipes de O&M para o uso do modelo; e a consolidação de indicadores de desempenho baseados em dados estruturados [9], [11]. As lições aprendidas reforçam a necessidade de envolver equipes de O&M desde as fases iniciais, assegurar a qualidade do modelo as-built e consolidar governança institucional para sustentabilidade do BIM-FM ao longo do ciclo de vida. Como agenda futura, a integração entre BIM, Digital Twin, IoT e análise preditiva pode ampliar a capacidade de monitoramento, antecipação de falhas e suporte à decisão em infraestruturas críticas [2], [12], [13].

Referências

[1] S. Pereira, E. Juvêncio, M. Vieira, e P. Abirached, “Contratação integrada de obra emergencial em BIM - Desafios e benefícios para um órgão público no Brasil”, em *5º Congresso Português de Building Information Modelling Volume 2*, 1º ed., UMinho Editora, 2024. doi: 10.21814/uminho.ed.164.38.

[2] G. Piras, S. Agostinelli, e F. Muzi, “Smart Buildings and Digital Twin to Monitoring the Efficiency and Wellness of Working Environments: A Case Study on IoT Integration and Data-Driven Management”, *Applied Sciences*, v. 15, n. 9, p. 4939, abr. 2025, doi: 10.3390/app15094939.

[3] P. Teicholz, Ed., BIM for Facility Managers. Hoboken, N.J.: John Wiley & Sons, 2013.

[4] IEC 60364-1:2005. “Low-voltage electrical installations - Part 1: Fundamental principles, assessment of general characteristics, definitions”, International Electrotechnical Commission, 2005.

[5] IEC 61936-1:2021. “Power installations exceeding 1 kV AC and 1,5 kV DC - Part 1: AC”, International Electrotechnical Commission, 2021.

[6] IEC 62305-1:2010. “Protection against lightning - Part 1: General principles”, International Electrotechnical Commission, 2010.
[7] NFPA 70E. “Standard for Electrical Safety in the Workplace”, National Fire Protection Association, 2024.
[8] Fortes, M. Z., Medina, V. P., Martinho, J. C. G., & Cosentino, G. V., “Análise da qualidade de energia de um sistema fotovoltaico conectado a uma rede de baixa tensão.”, Revista Augustus, v. 25, n. 52, mar. 2020, doi: 10.15202/1981-1986.v25n52p353
[9] R. Sacks et al., BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Designers, Engineers, Contractors, and Facility Managers, 4th ed. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2025.
[10] R. Sacks et al., "BIM for Owners and Facility Managers," in BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Designers, Engineers, Contractors, and Facility Managers, 4th ed., Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2025, pp. 145-216.
[11] Computer Integrated Construction Research Program, BIM Project Execution Planning Guide, Version 3.0. Pennsylvania State University, 2023. [Online]. Available: https://psu.pb.unizin.org/bimprojectexecutionplanning/
[12] L. Sabol, "BIM Technology for FM," in BIM for Facility Managers, P. Teicholz, Ed., Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2013, pp. 17-45.
[13] H. Yi et al., "Production Logistics in Industry 3.X: Bibliometric Analysis, Frontier Case Study, and Future Directions," Systems, vol. 11, no. 7, p. 371, Jul. 2023, doi: 10.3390/systems11070371.

12345

TRANSFORMAÇÃO DIGITAL NA INDÚSTRIA: BIM E REALIDADE VIRTUAL COMO VETORES ESTRATÉGICOS DE EXPANSÃO

Valter Brito, Guilherme Guignone, Wildenbergy Lucas

ptBIM

TRANSFORMAÇÃO DIGITAL NA INDÚSTRIA: BIM E REALIDADE VIRTUAL COMO VETORES ESTRATÉGICOS DE EXPANSÃO

Valter Brito [(1)], Guilherme Guignone [(2)], Wildenbergy Lucas [(3)]

(1) VMB Engenharia, Fortaleza, Ceará, Brasil, ID ORCID 0009-0005-8578-7483
(2) Collaborate Engenharia, Vitória, Espírito Santo, Brasil, ID ORCID 0000-0002-1007-8739
(3) Nacional Gás, Fortaleza, Ceará, Brasil

Resumo
A expansão de plantas industriais em operação exige precisão na análise de cenários, compatibilização entre estruturas existentes e propostas futuras e comunicação eficiente entre equipes multidisciplinares. Este estudo apresenta a aplicação integrada de *Building Information Modeling* (BIM) e Realidade Virtual (RV) na expansão de filiais de uma empresa brasileira de distribuição de gás de petróleo liquefeito (GLP), demonstrando como tecnologias imersivas apoiam a governança técnica e a tomada de decisão em ambientes industriais complexos. A metodologia partiu da modelagem BIM da situação existente, contemplando padronizações corporativas e requisitos operacionais. Com base nesse modelo, foram desenvolvidas simulações comparativas entre situação atual, alternativas de expansão e diretrizes do plano diretor, permitindo avaliar demolições, reformas, ampliações e reorganizações de fluxo de forma visual e auditável. A integração com RV possibilitou navegação imersiva, análise de equipamentos em escala real, comparação de versões e modos especializados de exploração de cenários. Os resultados qualitativos evidenciaram maior clareza comunicacional, redução de inconsistências interpretativas e melhor previsibilidade nas decisões de investimento; a quantificação rigorosa desses ganhos constitui trabalho futuro. Conclui-se que a combinação BIM–RV configura estratégia consistente para projetos industriais críticos, ampliando transparência, padronização e capacidade de simulação.

1. Introdução

A expansão de plantas industriais em operação apresenta relevantes barreiras e desafios, uma vez que decisões de projeto precisam considerar, simultaneamente, restrições físicas existentes, continuidade operacional, requisitos de segurança, conformidade normativa e viabilidade econômica. Intervenções mal planejadas, nesse contexto, podem resultar em impactos significativos sobre a produtividade, aumento de riscos operacionais e elevação dos custos ao longo do ciclo de vida dos ativos. Diante desse cenário, a transformação digital tem sido apontada como um elemento-chave para apoiar análises mais precisas, reduzir incertezas e potencializar a comunicação entre equipes multidisciplinares envolvidas no processo [1].

O *Building Information Modeling* (BIM) tem se destacado como uma das principais metodologias para a digitalização de ativos industriais, permitindo a criação de modelos tridimensionais integrados que concentram informações geométricas, operacionais e organizacionais em um ambiente colaborativo. Diferentemente dos métodos tradicionais baseados em documentação fragmentada, o BIM possibilita a avaliação simultânea de diferentes cenários de intervenção, promovendo maior consistência entre projeto, planejamento e tomada de decisão ao longo do ciclo de vida do empreendimento [2, 3].

No contexto industrial, o uso do BIM tem evoluído para além da etapa de projeto, assumindo papel estratégico no suporte ao planejamento de expansões, à análise de interferências com instalações existentes e à definição de diretrizes de padronização corporativa. Estudos amplamente reconhecidos indicam que essa abordagem contribui para a redução de conflitos, melhoria da rastreabilidade das informações e maior previsibilidade técnica em empreendimentos complexos [4, 5].

Entretanto, apesar dos avanços proporcionados pelo BIM, a interpretação de modelos digitais ainda pode apresentar limitações, especialmente quando envolve usuários não técnicos ou processos decisórios estratégicos de alto impacto. A leitura e compreensão de modelos tridimensionais em telas convencionais requerem familiaridade técnica e podem não transmitir plenamente aspectos espaciais, operacionais e perceptivos do ambiente construído. Nesse sentido, a Realidade Virtual (RV) amplia o potencial de uso dos modelos BIM ao permitir a navegação imersiva em ambientes virtuais tridimensionais e interativos, proporcionando uma compreensão mais intuitiva, espacialmente realista e colaborativa das soluções propostas [6, 7].

A integração entre RV e BIM constitui uma tecnologia imersiva de visualização e análise de projetos tridimensionais, capaz de suportar a coordenação interdisciplinar e a tomada de decisões na construção civil, por meio da exploração interativa de modelos digitais antes da execução física [8]. Essa integração tem sido cada vez mais utilizada como ferramenta de apoio à análise de alternativas de projeto, à simulação de sequências construtivas e à validação de soluções em ambientes complexos. Pesquisas consolidadas demonstram que essa combinação contribui para a redução de erros de interpretação, maior alinhamento entre *stakeholders*, antecipação de conflitos e aumento da confiabilidade das decisões de investimento, especialmente em fases iniciais do planejamento [9–11].

Além disso, recursos digitais complementares, como o uso de imagens 360° integradas a modelos BIM, têm sido discutidos na literatura como estratégias eficazes para aproximar o ambiente virtual do contexto real, favorecendo inspeções assistidas, validações remotas e melhor acesso à informação em campo. Essas abordagens ampliam a acessibilidade dos dados e fortalecem a governança técnica dos empreendimentos industriais, especialmente em ativos existentes e em processos de *retrofit* ou expansão [2].

Nesse contexto, o presente artigo apresenta a aplicação integrada de BIM e RV no processo de expansão de plantas industriais de uma empresa de distribuição de gás de petróleo liquefeito (GLP) no Brasil. O estudo evidencia como o uso de tecnologias imersivas contribuiu para a análise comparativa de cenários, a avaliação de impactos operacionais, a verificação de compatibilidade entre estruturas existentes e propostas futuras e a melhoria da comunicação técnica entre os agentes envolvidos. Os resultados, de natureza qualitativa, indicam o potencial da integração BIM–RV como estratégia prática para apoiar decisões em fases críticas de expansão industrial, sendo a sua quantificação rigorosa objeto de trabalhos futuros.

2. Avanços recentes na integração BIM–Realidade Virtual

A integração entre BIM e RV tem avançado nos últimos anos, deixando de ser apenas recurso de visualização para assumir papel estratégico no apoio à tomada de decisão, à simulação de cenários e à melhoria da comunicação em empreendimentos complexos. Em simulações 4D imersivas voltadas à construtibilidade, Boton [10] demonstrou que ambientes colaborativos baseados em BIM 4D integrados à RV permitem identificar conflitos construtivos de forma mais precoce que métodos tradicionais de revisão, ampliando a compreensão coletiva das etapas executivas. No planejamento de áreas de trabalho, Getuli *et al.* [12] evidenciaram que a simulação imersiva contribui para decisões mais assertivas relacionadas ao *workspace planning*, especialmente em ambientes restritos e dinâmicos. No âmbito do processo de projeto, Abdirad e Lin [11] observaram que ambientes virtuais imersivos favorecem a compreensão espacial das soluções, reduzem ambiguidades interpretativas e fortalecem a colaboração multidisciplinar durante a revisão de projetos. Avanços recentes também exploram a integração BIM–RV em ecossistemas *openBIM*: Johansson *et al.* [14] analisaram aplicações reais de RV imersiva conectadas a fluxos *openBIM*, destacando benefícios na colaboração remota e na comparação entre versões, bem como desafios de desempenho computacional e gestão de dados. Revisões sistemáticas consolidam esses avanços: Safikhani *et al.* [13] identificaram que a integração BIM–RV é predominantemente aplicada em visualização avançada, coordenação de projetos, simulação construtiva e treinamento, apontando como tendências emergentes a colaboração multiusuário e a integração com dados operacionais.

Apesar dos avanços teóricos, é ainda limitada a quantidade de estudos de caso reais aplicando essa integração em plantas industriais, caracterizadas pela atuação simultânea de múltiplas disciplinas e pela necessidade de troca contínua e precisa de informações. Nesses ambientes, os sistemas são críticos, interdependentes e não admitem falhas, tornando essencial uma compreensão espacial clara e compartilhada entre os envolvidos. Nesse contexto, o uso da RV integrada ao BIM apresenta-se como recurso potencial para apoiar a coordenação interdisciplinar, reduzir riscos e qualificar a tomada de decisão nas fases de projeto e planejamento.

3. Metodologia

O desenvolvimento do trabalho adotou um fluxo metodológico estruturado em etapas sequenciais e iterativas, concebido para garantir precisão técnica, rastreabilidade da informação, clareza comunicacional e integração com tecnologias digitais imersivas. A metodologia foi orientada por princípios de confiabilidade da base de dados, validação colaborativa e suporte à tomada de decisão em ambientes industriais complexos (Figura 1). A arquitetura tecnológica articulou o *Revit* (Autodesk) para a modelagem paramétrica, o *Navisworks* (Autodesk) para a coordenação multidisciplinar e a detecção de interferências, e o motor *Unreal Engine* para a construção dos ambientes de RV (Figura 2). A troca de informações entre plataformas baseou-se em formatos nativos e em fluxos compatíveis com o padrão *openBIM* (IFC), favorecendo a interoperabilidade entre disciplinas. A visualização foi

disponibilizada em monitores convencionais, em dispositivos móveis (códigos QR e imagens 360°) e em óculos de RV.

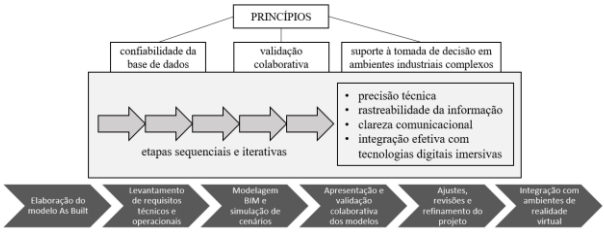


Figura 1: fluxo metodológico adotado para o desenvolvimento dos trabalhos

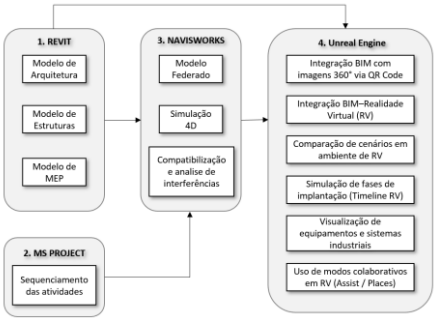


Figura 2: principais softwares adotados para o desenvolvimento dos trabalhos

3.1 Elaboração do modelo As Built

A primeira etapa consistiu na elaboração do modelo *As Built*, com o objetivo de registrar de forma fidedigna as condições reais da instalação existente. Essa fase envolveu a consolidação de informações geométricas, funcionais e operacionais, assegurando que o projeto de expansão fosse fundamentado em uma representação digital atualizada e coerente com o estado físico do ativo. A adoção do modelo *As Built* mostrou-se essencial para reduzir incertezas iniciais, eliminar inconsistências recorrentes em levantamentos manuais e criar uma base confiável para as etapas subsequentes do processo.

3.2 Levantamento de requisitos técnicos e operacionais

Na sequência, foi realizado o levantamento de requisitos, etapa fundamental para identificar e sistematizar as demandas específicas relacionadas à expansão da planta industrial. Esse levantamento contemplou aspectos de padronização corporativa, exigências regulatórias, requisitos operacionais, condicionantes de segurança e pontos críticos de desempenho do sistema existente. O mapeamento estruturado desses requisitos orientou as decisões projetuais, assegurando alinhamento entre as soluções técnicas propostas e as diretrizes estratégicas da organização.

3.3 Modelagem BIM e simulação de cenários

Com os dados consolidados, iniciou-se a etapa de modelagem BIM, responsável por traduzir as informações levantadas em modelos tridimensionais inteligentes e integrados. Nessa fase, foram desenvolvidos modelos paramétricos capazes de suportar a compatibilização entre disciplinas, o controle de versões e a simulação de diferentes alternativas de *layout* e expansão. A modelagem BIM possibilitou a análise comparativa de cenários, a avaliação de interferências

entre sistemas existentes e propostos e a verificação antecipada de adequações necessárias, contribuindo para a previsibilidade técnica do processo.

3.4 Apresentação e validação colaborativa dos modelos

Posteriormente, os modelos BIM foram apresentados às equipes técnicas e aos gestores, com foco na validação colaborativa das soluções propostas. Essa etapa permitiu que diferentes áreas da organização avaliassem os cenários de forma integrada, promovendo o alinhamento entre perspectivas técnicas, operacionais e estratégicas. A visualização tridimensional e a possibilidade de exploração dos modelos facilitaram a identificação de ajustes necessários e ampliaram a compreensão coletiva das implicações das decisões de projeto.

3.5 Ajustes, revisões e refinamento do projeto

A partir das contribuições obtidas durante a validação colaborativa, procedeu-se à etapa de ajustes e revisões, refinando o projeto de acordo com os apontamentos realizados. Esse processo iterativo contribuiu para aumentar a assertividade das soluções antes da fase de execução, reduzindo riscos de retrabalho e garantindo maior aderência aos requisitos previamente estabelecidos.

3.6 Integração com ambientes de realidade virtual

Por fim, os modelos BIM consolidados foram integrados a ambientes de RV, possibilitando a exploração imersiva e interativa do projeto em escala real. Essa etapa ampliou a compreensão espacial das soluções propostas, favoreceu a comunicação entre *stakeholders* com diferentes níveis de conhecimento técnico e apoiou a tomada de decisão. A navegação imersiva permitiu a análise de *layouts*, fluxos operacionais, posicionamento de equipamentos e impactos das expansões, proporcionando uma avaliação dos cenários antes da implementação física.

A Tabela 1 ilustra de forma esquemática as etapas do fluxo metodológico adotado, evidenciando o encadeamento lógico entre levantamento, modelagem, validação e imersão virtual como suporte à tomada de decisão.

Etapa	Objetivo principal	Entradas (inputs)	Ferramentas / Tecnologias	Saídas (outputs)
Elaboração do modelo As Built	Registrar fielmente as condições reais da instalação existente	Levantamentos de campo, plantas existentes, registros fotográficos, medições in loco	Modelagem BIM, levantamento técnico, registros fotográficos	Modelo As Built confiável e atualizado
Levantamento de requisitos técnicos e operacionais	Identificar demandas de expansão, padronização, segurança e requisitos regulatórios	Modelo As Built, normas técnicas, diretrizes corporativas, entrevistas com stakeholders	Análise técnica, reuniões de alinhamento, documentação de requisitos	Lista estruturada de requisitos e condicionantes do projeto
Modelagem BIM e simulação de cenários	Desenvolver modelos tridimensionais inteligentes e	Requisitos consolidados, modelo As Built, diretrizes de layout	Software BIM, coordenação multidisciplinar, simulações de cenários	Modelos BIM compatibilizados e alternativas de layout

	avaliar alternativas de expansão			
Apresentação e validação colaborativa	Avaliar soluções de forma integrada com equipes técnicas e gestores	Modelos BIM, cenários simulados	Visualização 3D, reuniões técnicas, apresentações digitais	Feedback técnico, validações e recomendações de ajuste
Ajustes, revisões e refinamento do projeto	Incorporar contribuições e aumentar a assertividade das soluções	Comentários das equipes, registros de validação	Revisão de modelos, controle de versões BIM	Modelo BIM refinado e validado
Integração com Realidade Virtual	Ampliar compreensão espacial e apoiar a tomada de decisão	Modelo BIM consolidado	Plataformas de Realidade Virtual, visualização imersiva, navegação interativa	Ambiente virtual imersivo para análise e decisão

Tabela 1: Etapas do fluxo metodológico adotado

4. Soluções BIM aplicadas ao planejamento e à expansão industrial

A aplicação da metodologia BIM no contexto da empresa de distribuição de gás de petróleo liquefeito (GLP), estudo de caso, resultou em um conjunto integrado de soluções digitais voltadas ao planejamento estratégico da expansão das filiais, à melhoria da comunicação técnica e à antecipação de decisões de investimento. Diferentemente de abordagens pontuais, a estratégia adotada buscou estruturar uma visão sistêmica e de longo prazo, na qual as expansões não fossem tratadas como intervenções isoladas, mas como parte de um processo contínuo e programado de desenvolvimento dos ativos industriais.

4.1 Visão integrada de expansão e estruturação de um plano piloto

Um dos principais resultados do trabalho foi a consolidação de uma visão integrada de expansão, fundamentada na análise criteriosa das condições existentes e na verificação de aderência aos padrões corporativos. A partir do modelo *As Built* e da avaliação técnica das instalações, foram elaborados estudos contemplando demolições, reformas, padronizações e ampliações necessárias. Foi proposta a adoção de um plano piloto de expansão, concebido como instrumento estratégico para orientar adequações futuras de maneira previsível e programada, antecipando necessidades de infraestrutura, identificando limitações físicas e estabelecendo diretrizes para o crescimento ordenado das filiais. A versão consolidada, validada pelas equipes envolvidas, passou a atuar como base de referência para orientar expansões futuras.

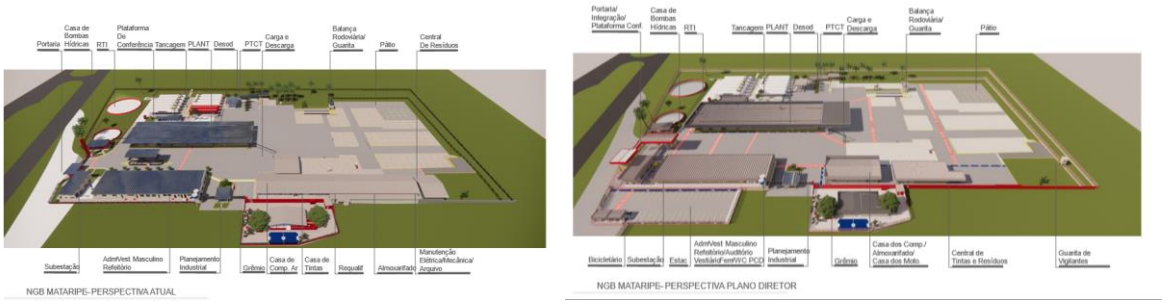


Figura 3: Versão existente e versão final da construção

4.2 Comparação entre a versão atual e o plano diretor de expansão

A utilização do BIM possibilitou a visualização simultânea da situação atual e das propostas de expansão, permitindo comparações diretas entre os cenários existentes e futuros. Essa funcionalidade ampliou significativamente a transparência do processo decisório, uma vez que as transformações planejadas puderam ser compreendidas de forma clara, visual e objetiva.
A comparação entre versões reduziu ambiguidades interpretativas, facilitou o alinhamento entre gestores e equipes técnicas e evitou interpretações equivocadas frequentemente associadas à análise de documentos bidimensionais. Como resultado, o processo decisório tornou-se mais robusto e fundamentado em evidências visuais e técnicas.



Figura 4: Comparativo versão atual e de expansão

4.3 Integração de códigos QR e imagens 360° como solução de acessibilidade

Como solução complementar, foram incorporados códigos QR vinculados a imagens 360°, ampliando a interatividade e a acessibilidade das informações do projeto. Usuários puderam acessar, por meio de dispositivos móveis, visualizações imersivas dos ambientes planejados, sem domínio de ferramentas avançadas de modelagem. A solução mostrou-se útil para validações remotas, apresentações gerenciais e alinhamento com *stakeholders* não técnicos, fortalecendo a comunicação do projeto e aproximando o ambiente digital da realidade do campo.

4.4 Clareza comunicacional como resultado da modelagem BIM

A comunicação entre agentes técnicos e gestores é tradicionalmente um dos principais gargalos em projetos industriais, especialmente quando envolve critérios simultâneos de engenharia, segurança, operação e sustentabilidade. A aplicação do BIM como ferramenta de simulação tridimensional permitiu representar as soluções de forma clara e integrada, favorecendo o alinhamento entre as diferentes áreas envolvidas. A visualização espacial das propostas reduziu ruídos de comunicação, acelerou processos de validação e aumentou a eficiência na definição das soluções de expansão, contribuindo para decisões mais consensuais e tecnicamente embasadas.

4.5 Aplicação da Realidade Virtual como solução de validação e análise

A RV foi aplicada como solução de análise, validação e comunicação, permitindo a imersão dos usuários no ambiente digital do projeto. A navegação interativa possibilitou explorar diferentes áreas da filial — setores administrativos, áreas industriais e espaços externos — em escala real, ampliando a compreensão espacial e funcional das soluções. Funcionalidades como visualização com e sem cobertura, navegação em primeira e terceira pessoa, controle de iluminação, simulação de condições climáticas e alteração de materiais em tempo real apoiaram

análises mais detalhadas, favorecendo a identificação de ajustes antes da execução física. A visualização de máquinas e equipamentos industriais, com acesso a informações técnicas, operacionais e descritivas diretamente no ambiente virtual, fortaleceu a integração entre projeto, operação e manutenção.

4.6 Modos avançados de Realidade Virtual e colaboração

A plataforma de RV incorporou modos avançados que ampliaram o potencial colaborativo da solução. O modo "*Places*" atuou como um guia virtual por setores específicos, facilitando discussões técnicas orientadas por áreas funcionais. O recurso de múltiplos cenários permitiu alternar rapidamente entre versões do projeto, favorecendo comparações diretas. O Modo *"Timeline"* possibilitou a simulação da evolução do projeto ao longo do tempo, representando diferentes fases da obra e apoiando análises relacionadas à sequência executiva. Já o Modo "*Assist"* ofereceu ferramentas para medição, inserção de comentários, captura de imagens e compartilhamento de informações em tempo real, fortalecendo o trabalho colaborativo entre equipes distribuídas. A compatibilidade com óculos de RV ampliou a imersão para gestores, engenheiros e demais *stakeholders*, consolidando a RV como solução de apoio à tomada de decisão em ambientes industriais complexos.

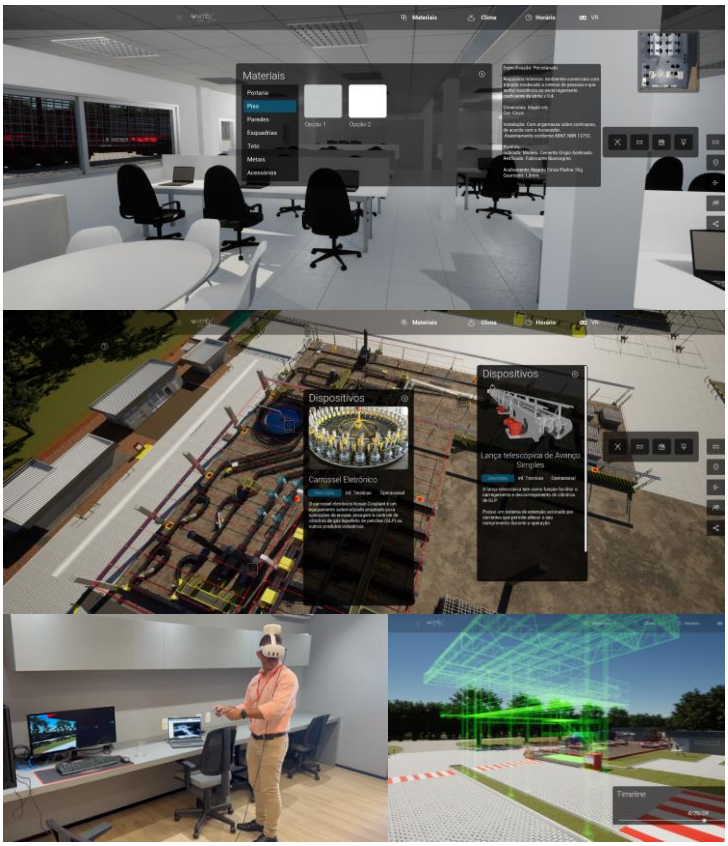


Figura 6: a) Visualizar as especificações dos materiais de piso b) visualizar as descrições de máquinas e equipamentos; c) uso de óculos de Realidade Virtual e d) evolução do projeto ao longo do tempo, representando diferentes fases da obra.

5. Benefícios alcançados e esperados

As soluções BIM evidenciaram benefícios consistentes ao longo das fases do projeto. A modelagem As Built no Revit, conjugada ao levantamento de requisitos e à estruturação do plano piloto, ofereceu base confiável para decisões, alinhou exigências operacionais, regulatórias e estratégicas, e ampliou a previsibilidade de adequações futuras. Já a comparação entre versões e a análise de interferências pelo Navisworks conferiram transparência ao processo decisório, antecipando conflitos entre sistemas e reduzindo retrabalhos em campo. A integração do modelo com imagens 360° via códigos QR ampliou a acessibilidade da informação a partir de dispositivos móveis, mostrando-se útil em validações remotas e no alinhamento com stakeholders não técnicos.
A integração com a RV consolidou-se como o recurso de maior impacto sobre a clareza comunicacional e a análise espacial em escala real: a navegação imersiva favoreceu a comparação de cenários, o recurso Timeline permitiu antecipar impactos e aprimorar o sequenciamento da execução, e a visualização de equipamentos industriais fortaleceu a integração entre projeto, operação e manutenção. Os modos colaborativos Assist e Places contribuíram para a comunicação interdisciplinar e a rastreabilidade das decisões. Em conjunto, BIM e RV atuaram de forma complementar, sustentando a confiabilidade dos dados, a antecipação de conflitos e a qualidade da comunicação técnica entre os agentes envolvidos.

6. Conclusão

A aplicação integrada de BIM e RV em projetos de expansão industrial mostrou-se solução pertinente frente aos desafios identificados no contexto analisado. Problemas como a fragmentação das informações, a limitação de clareza comunicacional entre equipes multidisciplinares e a dificuldade de visualização da integração entre estruturas existentes e novas propostas foram mitigados pelo uso articulado dessas tecnologias. O BIM apoiou a organização e gestão das informações, possibilitando a comparação entre versões, a simulação de alternativas e a análise de cenários com maior previsibilidade técnica. De forma complementar, a RV ampliou a compreensão espacial das soluções por meio de experiências imersivas e interativas, favorecendo a validação técnica, o engajamento de *stakeholders* e a tomada de decisão colaborativa antes da execução física das intervenções. O fluxo de trabalho adotado — modelo *As Built*, levantamento de requisitos, modelagem BIM, validação colaborativa, ajustes e experiências em RV — mostrou-se consistente e potencialmente replicável em outros empreendimentos industriais que demandem planejamento integrado e elevado nível de coordenação técnica.
Como limitações, registra-se que os benefícios reportados são de natureza predominantemente qualitativa, baseados na percepção das equipes envolvidas e não quantificados por métricas formais. A análise concentrou-se em aspectos espaciais e de compatibilização entre estruturas, não tendo abordado a simulação dinâmica de fluxos operacionais da instalação, que constitui condição relevante em ambientes industriais críticos. Custos de adoção, hardware de RV, licenças de *software* e curva de aprendizagem das equipes também não foram detalhados. Como trabalhos futuros, propõe-se: (i) a aplicação de protocolos experimentais com grupos de comparação e questionários a usuários para quantificar ganhos de clareza comunicacional, número de inconsistências detectadas em RV *versus* revisão 2D, tempo de decisão e custo de retrabalho evitado; (ii) a integração com simulações dinâmicas de processos operacionais

(fluxos logísticos e de produção); e (iii) o aprofundamento da interoperabilidade IFC entre o ambiente BIM e o motor de RV, em alinhamento com os padrões *openBIM*. Apesar dessas limitações, a experiência relatada indica que a combinação BIM–RV pode contribuir como instrumento da transformação digital na engenharia industrial, alinhada às diretrizes da Indústria 4.0.

Referências

[1] H. Kagermann, W. Wahlster, and J. Helbig, Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0. Munich, Germany: acatech – National Academy of Science and Engineering, 2013.
[2] R. Volk, J. Stengel, and F. Schultmann, "Building Information Modeling (BIM) for existing buildings: Literature review and future needs," Automation in Construction, vol. 38, pp. 109–127, 2014.
[3] R. Sacks, G. Lee, L. Burdi, and M. Bolpagni, BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Designers, Engineers, Contractors, and Facility Managers, 4th ed. Hoboken, NJ, USA: Wiley, 2025.
[4] B. Succar and M. Kassem, "Macro-BIM adoption: Conceptual structures," Automation in Construction, vol. 57, pp. 64–79, 2015.
[5] P. Bosch-Sijtsema, A. Isaksson, M. Lennartsson, and H. Linderoth, "BIM implementation and organizational change," Engineering, Construction and Architectural Management, vol. 26, no. 9, pp. 1980–1995, 2019.
[6] J. Whyte, Virtual Reality and the Built Environment. London, UK: Routledge, 2013.
[7] J. Whyte and T. Hartmann, "How digitizing building information transforms the construction industry," Building Research & Information, vol. 45, no. 6, pp. 591–595, 2017.
[8] H. Salgado, "BIM-based immersive Virtual Reality for construction workspace planning: A safety-oriented approach," Automation in Construction, vol. 114, p. 103160, 2020.
[9] P. Wang, P. Wu, J. Wang, H.-L. Chi, and X. Wang, "A critical review of the use of virtual reality in construction engineering education and training," International Journal of Environmental Research and Public Health, vol. 15, no. 6, p. 1204, 2018.
[10] C. Boton, "Supporting constructability analysis meetings with immersive virtual reality-based collaborative BIM 4D simulation," Automation in Construction, vol. 96, pp. 1–15, 2018.
[11] H. Abdirad and K.-Y. Lin, "Advancing BIM–VR integration: Exploring the design process using immersive virtual environments," Journal of Architectural Engineering, vol. 23, no. 3, p. 04017012, 2017.
[12] V. Getuli, P. Capone, A. Bruttini, and S. Isaac, "BIM-based immersive virtual reality for construction workspace planning," Automation in Construction, vol. 113, p. 103156, 2020.
[13] S. Safikhani, M. Salmanzadeh, and A. Mahdiyar, "Immersive virtual reality for extending the potential of BIM: A systematic review," Automation in Construction, vol. 140, p. 104360, 2022.
[14] M. Johansson, M. Roupé, and P. Bosch-Sijtsema, "Real-world applications of BIM and immersive virtual reality in an openBIM ecosystem," Automation in Construction, 2024.
[15] J. Lucas, "Rapid development of virtual reality-based BIM applications," ITcon, vol. 25, pp. 332–345, 2020.

12345

AUGMENTED REALITY FOR MODULAR CONSTRUCTION: A BIM DRIVEN FACTORY TO SITE WORKFLOW

Eddy Mendoza Jiménez, José L. Duarte Granja

ptBIM

AUGMENTED REALITY FOR MODULAR CONSTRUCTION: A BIM DRIVEN FACTORY TO SITE WORKFLOW

Eddy Mendoza Jiménez [(1)], José L. Duarte Granja [(2)]

(1) BIM A+, University of Minho, Department of Civil Engineering, Guimarães, Portugal, CIÊNCIA ID EC1C-AD50-BF57
(2) University of Minho, ISISE, ARISE, Department of Civil Engineering, Guimarães, Portugal, ID ORCID 0000-0002-0858-4990

Abstract
The research presents ARsembly, an open source framework that bridges Building Information Modeling (BIM) and Augmented Reality (AR) within the Architecture, Engineering, Construction, and Operations (AECO) sector. The study addresses a persistent gap between traditional BIM AR proposals and their practical implementation in real-world workflows. Through the development of two interlinked frameworks, BIM AR integration and User Interface (UI), the work demonstrates a feasible, replicable approach for interactive BIM visualization and decision support in AR environments.
The BIM AR framework tackles key technical challenges such as model preparation, file transformation, runtime rendering, and device optimization, establishing a GLTF-based runtime pipeline compatible with free and open source tools. In parallel, the UI framework defines a modular structure that separates general functionality from AR-specific interaction, focusing on usability, cognitive clarity, and multidisciplinary adaptability. Together, these frameworks converge in ARsembly, a prototype developed in Unity with C#, Docker, and Python scripting to enable real-time BIM model visualization, metadata management, and AR-based interaction.
Results validate the feasibility of the proposed system through iterative testing, benchmarking, and partial implementation. The research concludes that BIM AR integration must be both technically grounded and user-centered, with flexibility and accessibility as key enablers of adoption in the AECO industry. ARsembly thus contributes a scalable model for open, interoperable, and human centric digital workflows supporting the ongoing transformation of construction processes toward smarter and data-driven environments.

1. Introduction

The AECO industry is facing a paradigm and digital metamorphosis from traditional to virtual, digital and innovative methodologies, such as BIM, AR, VR and others [9]. The aim of this transformation is to create greener, safer, efficient, creative and time-sentive spaces through the life cycle of construction projects. While considering cultural changes in the way professionals interact, design, visualize, plan and collaborate.
The role of AR in this industry switch has evolved from isolated experimental initiatives to structured projects, capable of handling real life scenarios. However, despite its potential to merge digital content and physical environments, AR implementation in modular construction remains limited, affecting project accuracy, coordination, and efficiency. The proposed ARsembly addresses this gap by integrating BIM and AR with a realistic and replicable focus for the assembly of prefabricated elements.
The integration is through a BIM AR software, supported by a UI and a mobile AR frameworks. Enabling instant interaction of BIM models into an AR interface built with Unity Engine (C# scripting), Python scripting (GLTF conversion and metadata) and runtime API communication (Docker and containers). The application targets Android devices following four AR integration phases: initial decisions, format settings, metadata settings and AR placement.
The development process was supported by wireframes, storyboards, virtual prototyping, and iterative architecture definitions (Architecture α and β), enabling continuous usability evaluation and technical refinement. Methodologically, the study adopts an iterative and qualitative approach, combining technical development with design thinking principles. The research is structured as follows: 1) theoretical and practical review, 2) BIM AR framework, 3) UI framework, 4) frameworks implementation, and 5) results and conclusions.

2. Theoretical and practical review

Three primary research lines were identified during the literature review. The first concerns AR applications in construction, the second addresses the integration of BIM and AR, and the third focuses on the use of game engines as a medium for AR implementation.
AR is defined as the integration of virtual content into the real world to enhance user perception and understanding of spatial and graphic information [2]. In construction, AR supports real-time progress tracking and 3D/4D visualization [14], facilitates defect identification and coordination, and contributes to safety management and productivity monitoring [3;8]. However, limitations such as hardware demand, accuracy constraints, implementation costs, and workforce adaptability persist [14].
Additionaly, AR has demonstrated potential to reduce cognitive load and physical errors during assembly processes by providing contextual and real-time guidance [7; 16]. Compared to VR and MR, AR remains the most practical and versatile technology for on-site visualization and workforce guidance in AECO contexts [17].
Furthermore, the second research line refers to the BIM and AR integration, where implementation of AR in BIM methodology offers a binocular or oculomotor experience (two or more visual inputs), improving the understanding of spatial environments [18]. Nevertheless, challenges remain due to limited training, lack of standardized guidelines, and interoperability constraints.

The third research line highlights the use of game engines for AR implementation. Gaming environments have been identified as effective platforms for learning complex tasks and simulating construction processes [1]. Two primary workflows to transfer BIM data into game engines are commonly used: 1) direct export to formats such as OBJ, FBX, or IFC, and 2) pre-rendering pipelines to preserve metadata [18]. Managing data complexity through Level of Information Need (LOIN) and Level of Geometric Granularity (LGG) is critical to reduce data loss and optimize performance.
Despite optimization efforts, BIM and AR workflows still face challenges related to metadata preservation and interoperability. While IFC is recommended for maintaining semantic data, most game engines lack native support, relying instead on intermediate formats such as FBX or OBJ [13]. Educational initiatives such as the ELBIGMAC project demonstrate how Unity and Unreal can support immersive BIM learning environments [15].

3. Augmented Reality framework

Prior to the definition of the AR framework for ARsembly, a benchmark study was conducted across eight game engines: A-Frame, Babylon, Cryengine, Godot, PlayCanvas, Unity, Unreal and Wonderland. The platforms were analyzed based on: development focus (web or mobile apps), device compatibility (mobiles, PC or HMD), BIM file format integration (interoperability with BIM formats) and operating system (Windows, iOS or Linux).
Unity and Unreal emerged as the most suitable platforms, with Unity selected due to its accessibility, learnability, extensive documentation, and availability of open source resources [6]. For runtime BIM integration, the GLTF format was selected for its balance between geometric accuracy, metadata handling, and lightweight performance, particularly in mobile AR environments where FBX runtime loading requires paid solutions [4].
The proposed AR framework (Figure 1) structures the integration into four stages: initial decisions (engine and platform), format setting (favoring GLTF for runtime), metadata setting (use of GLTF extras), and AR placement. The framework supports both offline and runtime scenarios and prioritizes plane detection and AR placement to mitigate issues related to marker instability and environmental sensitivity.

4. User Interface framework

This section defines the UI framework for ARsembly, based on Franklin Hernández Castro's twelve-phase methodology for software development [10]. The framework has been adapted to address Extended Reality (XR) contexts by creating a division of the interface into two parallel streams: General UI and BIM AR UI, beginning at Architecture α (phase four) (Figure 2).
The General UI handles standard functions such as menus, settings, and project management, while the BIM AR UI specifically manages AR visualization, marker or plane detection, and interaction with BIM content. This division is necessary due to the uneffective test of traditional design techniques such as paper prototyping into immersive 3D experiences.

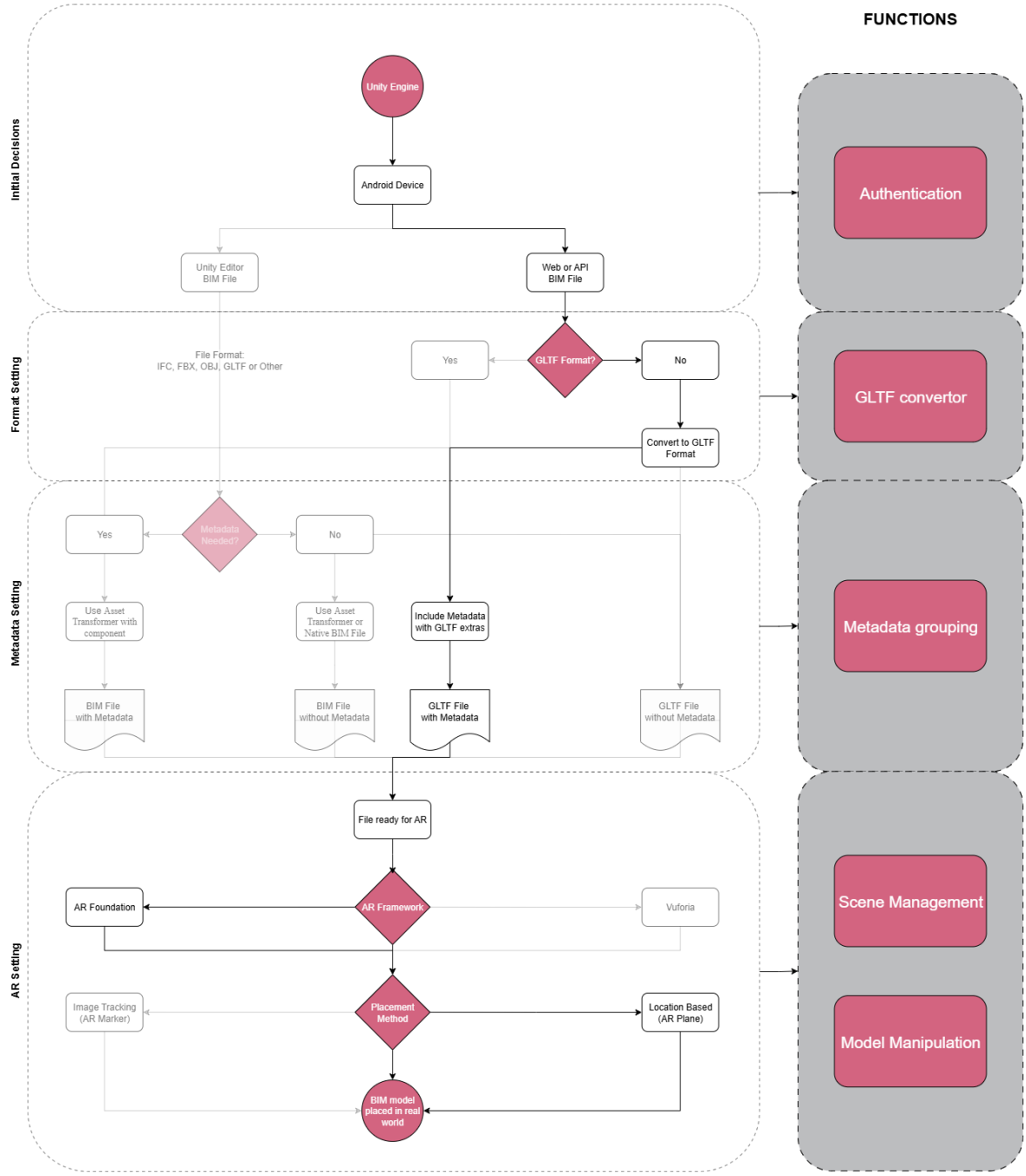


Figure 1: Proposed BIM AR Framework for Unity Engine with defined fectionalities

Virtual prototyping was introduced as a new and direct response to overcoming the limitations of traditional techniques. Enabling early testing on spatial interaction, reducing cognitive load and improving usability feedback [12]. In addition, it helps to gain familiarity with the AR and BIM technologies for unfamiliar workers, while keeping an open and communicative channel, minimizing the generational knowledge gap identified.

Usability test becomes the core feedback method for the BIM AR UI framework. Focusing on task performance, user verbalization, and observed behavior to identify issues that cause mental load, frustration or errors, and are repeated across stages [11].
A key finding is that BIM AR UI is dynamic and context dependent. Task complexity directly dictates the interface structure and AR effectiveness, reinforcing the need for modular and adaptable UI design [5].

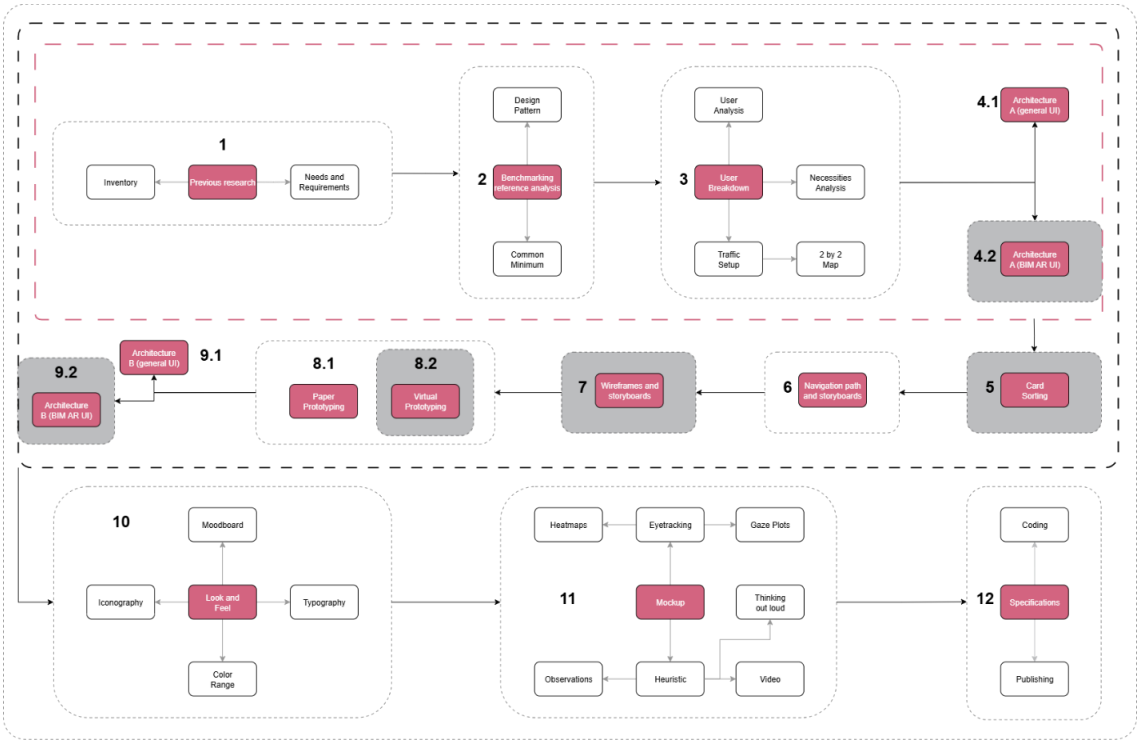


Figure 2: Proposed BIM AR Framework for Unity Engine

5. Frameworks implementation

The BIM AR framework has been fully implemented, while the UI framework was partially applied to its critical components. Benchmarking of eight AR tools (Cupix, Dalux, DarfDesign (Arki), Gamma AR, SmarTek (House Tour), Trimble Connect, VGIS and XYZ Reality) supports the definition of the Architecture α, identifying key design patterns such as sidebar controls, onboarding guidance, and clear AR workflows (Figure 3).
Additionally, the user analysis defined six archetypes: on-site worker, inspectors, project manager, client, logistics or inventory managers and BIM Coordinator/Manager. While mapping them 15 core application necessities emerged such as: 1) real scale visualization, 2) dynamic floorplan location, 3) categorization system, 4) tracking dashboard, 5) assembly and construction breakdown, 6) comments or specification sections, 7) connection setup, 8) quality takes off, 9) intuitive UI, 10) issues dashboard, 11) BIM integration, 12) accessibility and compatibility, 13) security control, 14) AR guidelines and 15) BIM guidelines. The analysis helps identify ARsembly's real needs, showing that AR and BIM guidelines should always be accessible, as these were the least well fulfilled aspects in the benchmarking analysis.

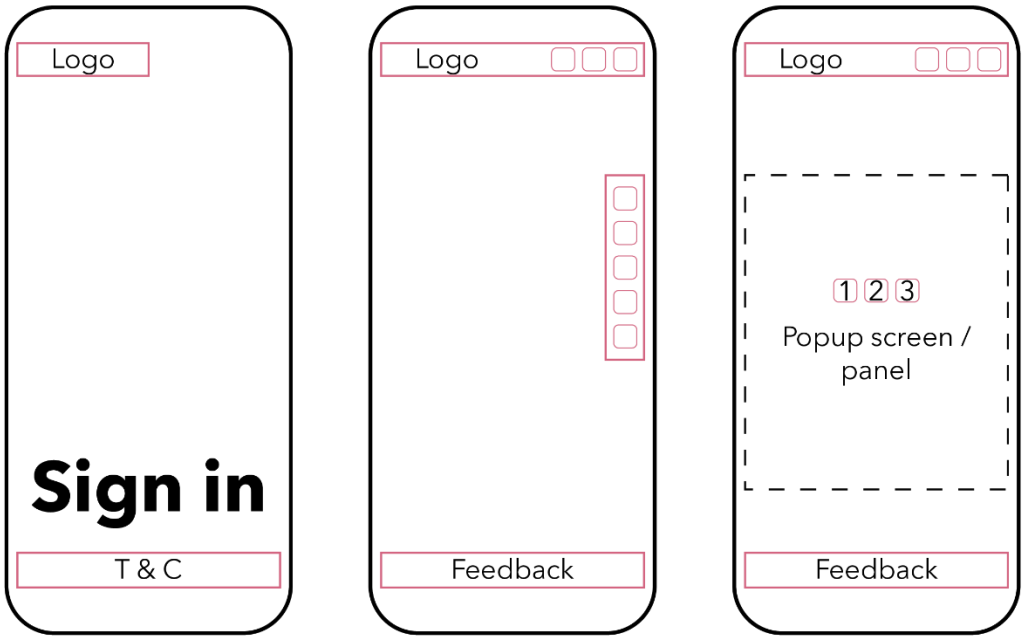


Figure 3: Summary of Identified Design Pattern

Technically, a Python-based pipeline using ifcOpenShell was developed to convert IFC and other BIM formats to GLTF, due to the lack of open source runtime support for these formats. BIM elements were grouped into the following eight IFC-based categories aligned with the buildingSMART IFC schema: 1) Walls: "IfcWall", "IfcWallStandardCase", 2) Floors or slab: "IfcSlab", "IfcFloor", 3) Structural elements: "IfcBeam", "IfcColumn", "IfcMember", "IfcPlate", "IfcReinforcingBar, 4) Mechanical elements: "IfcDistributionFlowElement", "IfcMechanicalFastener", 5) Electrical elements: "IfcElectricDistributionElement", "IfcElectricalElement", "IfcLamp", 6) Plumbing: "IfcFlowFitting", "IfcFlowSegment", "IfcSanitaryTerminal", 7) Furniture: "IfcFurniture" and 8) Finishing elements: "IfcCovering", "IfcSurfaceStyle".

During the conversion process, the metadata extracted from the IFC was only the one needed for ARsembly: 1) name, 2) type, 3) materials, 4) dimensions (width, height, and depth), 5) quantity, 6) specifications, and 7) color (only to be replaced for a single color on all the elements). As the rest of the metadata was not relevant for the visualization and classification of the elements, it was not processed or taken into consideration, meaning it was lost during the conversion. However, in case any other data is needed, it could be easily processed and incorporated during the conversion and metadata grouping stages.

The metadata grouped was embedded within the GLTF files using "extras." This GLTF pipeline enabled runtime model retrieval via an API and loading in Unity using the glTFast package.

Finally, virtual prototyping across four iterations refined the system (Figure 4), resolving UI overlaps and replacing marker-based tracking with plane detection placement. The final implementation demonstrates real-time BIM visualization, model manipulation, and assembly tracking within an integrated AR interface, validating the feasibility of the proposed frameworks.



Figure 4: Second Virtual Prototype

6. Results

The following images present the final implementation of the "ARsembly" application, showcasing the integrated UI and BIM AR frameworks in operation.
Figure 5 demonstrates the General UI, beginning with the authentication screen. Upon login, users access the project management dashboard, which reflects the updated "architecture β." Here, projects are categorized by type (Assembly/Installation) and status, with the option to archive completed work, addressing core necessities of scalability and task organization.
Figure 6 demonstrates the assembly tracking feature in use. The visual progress slider and element checkboxes allow users to toggle the visibility of completed items, directly applying the metadata grouping logic defined for the eight IFC categories. While showing the model manipulation panel. The sliders for rotation and scale adjustment highlight the C# coded functionality, enabling precise on-site control of the BIM model after placement via the AR plane method, confirming the successful separation from the general UI.

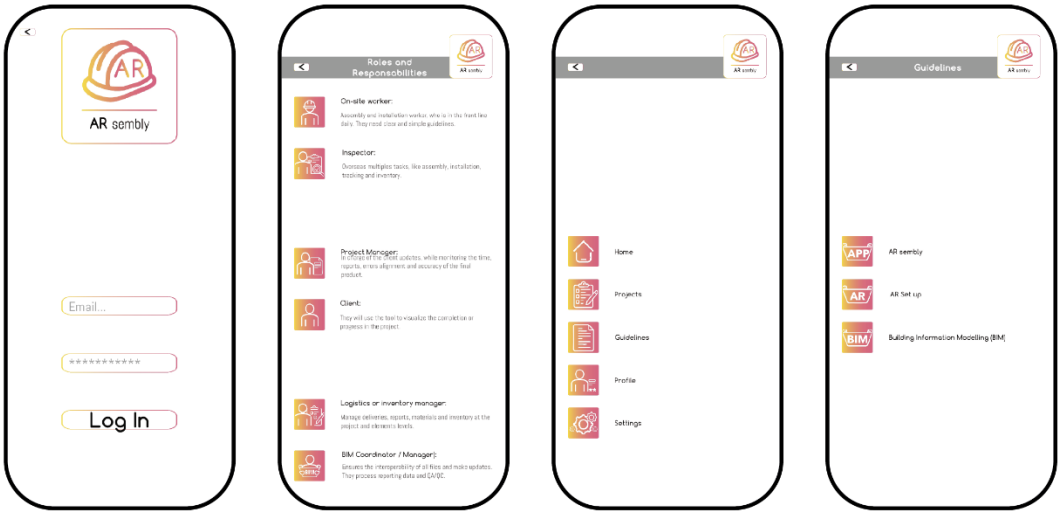


Figure 5: ARsembly Final General User Interface 1



Figure 6: ARsembly Final BIM AR User Interface 2

7. Finals considerations and limitations

This research successfully developed a replicable, open source BIM AR system for the AECO sector. The research produced the "ARsembly" prototype, founded on two frameworks: a technical BIM AR framework establishing a GLTF-based runtime pipeline and a modular UI framework separating general and AR-specific interfaces. Iterative development, including

virtual prototyping, validated the approach and confirmed that effective BIM AR UI must dynamically adapt to task complexity.
The study had constraints, including the partial implementation of reporting features, a restriction on GLTF format for runtime loading, internal usability testing limited to Android and performance test such as latency, loading time, model size and other. The scope did not include integration with 4D scheduling, IDS, BCF or cross platform iOS/WebAR deployment. Some recommended next steps include implementing the full reporting module, expanding to iOS and WebAR platforms, conducting extensive field testing and validation with industry users, exploring advanced Natural User Interfaces (NUIs) like gesture control, and a final validation with a study case.

Acknowledgments

This project has been developed within the framework of the BIM A+ Erasmus Mundus Master's program.
This work was funded by the R&D Project "R2U Technologies|modular systems", with reference C644876810-00000019, funded by PRR-Plano de Recuperação e Resiliência and by the European Funds Next Generation EU, under the incentive system "Agendas para a Inovação Empresarial". This work was also supported by FCT/MCTES under the R&D Unit Institute for Sustainability and Innovation in Structural Engineering (ISISE), under the references UID/4029/2025 (https://doi.org/10.54499/UID/04029/2025), UID/PRR/04029/2025 (https://doi.org/10.54499/UID/PRR/04029/2025) and UID/PRR2/04029/2025 (https://doi.org/10.54499/UID/PRR2/04029/2025), and under the Associate Laboratory Advanced Production and Intelligent Systems ARISE under reference LA/P/0112/2020 (https://doi.org/10.54499/LA/P/0112/2020).

References

[1] Ayer, S.K., Messner, J.I. and Anumba, C.J. (2016) "Augmented Reality Gaming in Sustainable Design Education," Journal of Architectural Engineering, 22(1), p. 4015012. Available at: https://doi.org/10.1061/(ASCE)AE.1943-5568.0000195.
[2] Azuma, R.T. (1997) "A Survey of Augmented Reality," Presence: Teleoperators and Virtual Environments, 6(4), pp. 355–385. Available at: https://doi.org/10.1162/pres.1997.6.4.355.
[3] Bademosi, F., Blinn, N. and A Issa, R.R. (2019) Use of augmented reality technology to enhance comprehension of construction assemblies, Journal of Information Technology in Construction (ITcon). Available at: http://www.itcon.org/2019/4.
[4] Balali, V., Zalavadia, A. and Heydarian, A. (2020) "Real-Time Interaction and Cost Estimating within Immersive Virtual Environments," Journal of Construction Engineering and Management, 146(2), p. 4019098. Available at: https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001752.
[5] Chih-Hsing Chu, Yu-Lun Liu, Augmented reality user interface design and experimental evaluation for human-robot collaborative assembly, Journal of Manufacturing Systems, Volume 68, 2023, Pages 313-324, ISSN 0278-6125, https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2023.04.007.

[6] Coronado, E., Itadera, S. and Ramirez-Alpizar, I.G. (2023) "Integrating Virtual, Mixed, and Augmented Reality to Human–Robot Interaction Applications Using Game Engines: A Brief Review of Accessible Software Tools and Frameworks," Applied Sciences (Switzerland), 13(3). Available at: https://doi.org/10.3390/app13031292.
[7] Davila Delgado, J.M., Oyedele, L., Demian, P. and Beach, T. (2020) "A research agenda for augmented and virtual reality in architecture, engineering and construction," Advanced Engineering Informatics, 45, p. 101122. Available at: https://doi.org/10.1016/j.aei.2020.101122.
[8] Grazina, J.F.L. (2013) "Realidade aumentada aplicada a BIM para a monitorização do progresso e controle de produção na construção." Available at: https://run.unl.pt/handle/10362/11005 (Accessed: August 31, 2025).
[9] Hamledari, H. and Fischer, M. (2021) "Construction payment automation using blockchain-enabled smart contracts and robotic reality capture technologies," Automation in Construction, 132. Available at: https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103926.
[10] Hernández-Castro, F. (2016) "Usability cookbook: metodología para el análisis y diseño de aplicaciones," RepositorioTEC [Preprint].
[11] Hertzum, M. (2020) "Usability Testing: A Practitioner's Guide to Evaluating the User Experience," Synthesis Lectures on Human-Centered Informatics, 1(1), pp. i–105. Available at: https://doi.org/10.2200/s00987ed1v01y202001hci045.
[12] Jeffri, N.F.S. and Awang Rambli, D.R. (2021) "A review of augmented reality systems and their effects on mental workload and task performance," Heliyon. Elsevier Ltd. Available at: https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06277.
[13] Johansson, M. and Roupé, M. (2024) "Real-world applications of BIM and immersive VR in construction," Automation in Construction, 158. Available at: https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.105233.
[14] Musarat, M.A., Khan, A.M., Alaloul, W.S., Ayub, S. and Bérenger, M. (2025) "Inspecting the benefits and challenges of virtual reality in construction projects of Malaysian industry," Innovative Infrastructure Solutions, 10(8). Available at: https://doi.org/10.1007/s41062-025-02153-0.
[15] Peixoto Helena and FEUP (2018) FEUP creates an educational laboratory for Civil Engineering. Available at: https://noticias.up.pt/2018/01/05/feup-cria-um-laboratorio-educacional-para-a-engenharia-civil/ (Accessed: August 31, 2025).
[16] Rashidi, A., Maalim, A., Gutierrez-Bucheli, L., Maxwell, D. and Arashpour, A.Prof.M. (2022) "Evaluating the Effectiveness of BIM-based Virtual Reality for Coordinating the Design Disciplines in a Building Renovation Project," in IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Available at: https://doi.org/10.1088/1755-1315/1101/3/032019.
[17] Verdelho Trindade, N., Ferreira, A., Madeiras Pereira, J. and Oliveira, S. (2023) "Extended reality in AEC," Automation in Construction. Elsevier B.V. Available at: https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.105018.
[18] Zou, Z., Arruda, L. and Ergan, S. (2018) "Characteristics of models that impact transformation of BIMS to virtual environments to support facility management operations," Journal of Civil Engineering and Management, 24(6), pp. 481–498. Available at: https://doi.org/10.3846/jcem.2018.5689.


U.PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO