

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 subsectores 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 incluía 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.

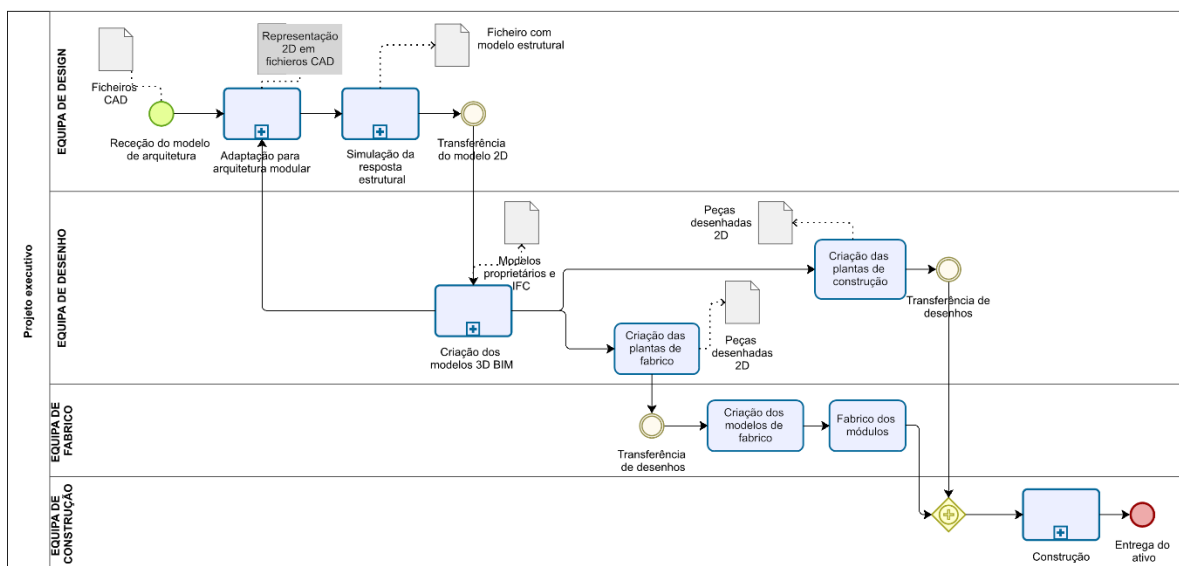


Figura 1: Fluxo de trabalho existente.

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.

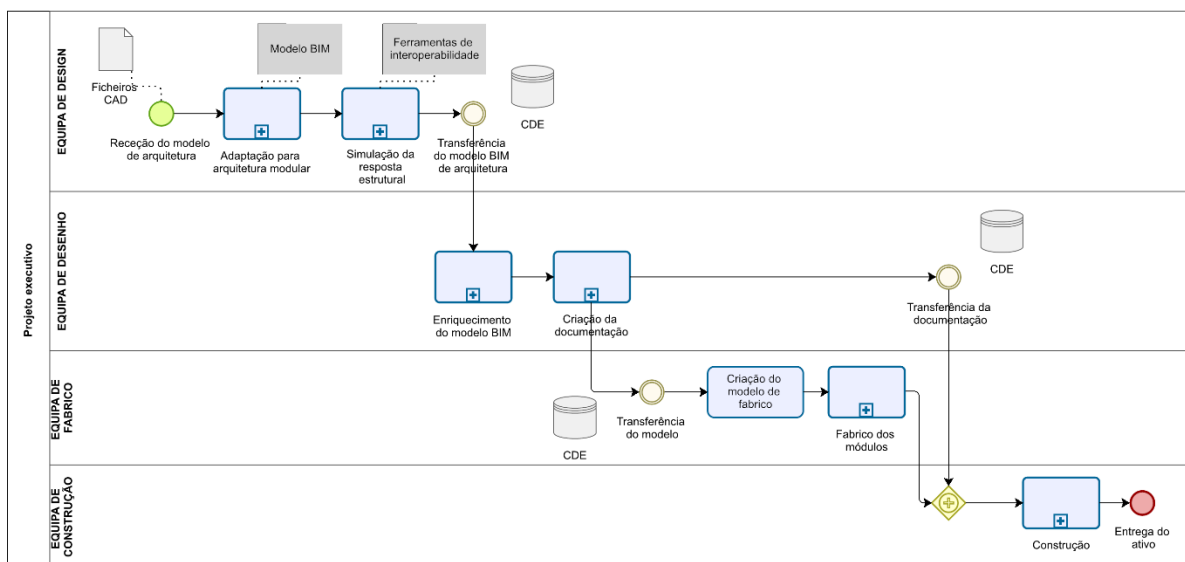


Figura 2: Fluxo de trabalho proposto.

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.

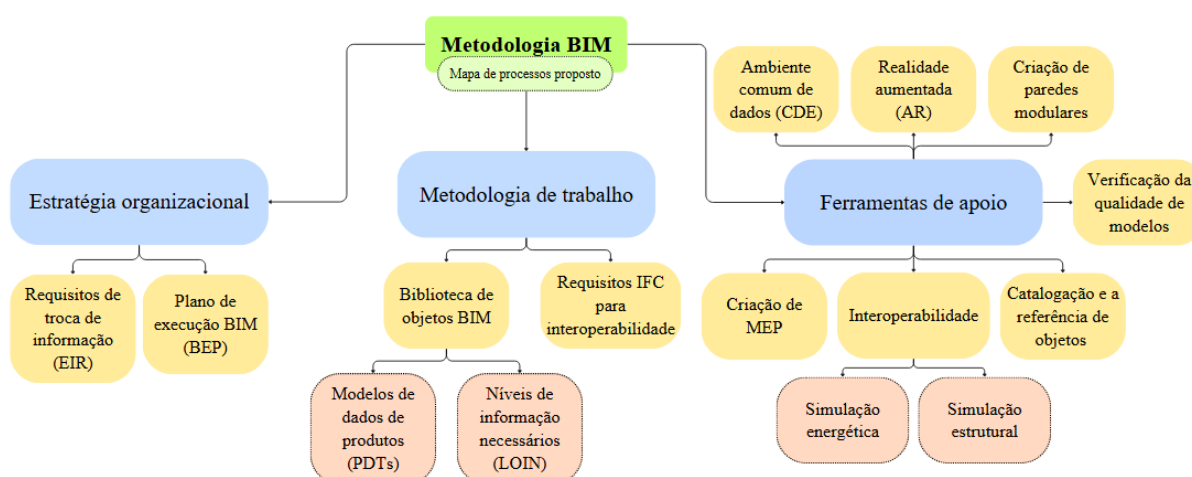


Figura 3: Framework de implementação da metodologia BIM.

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.