Capítulo 23

BIM na Operação e Manutenção de Edificações: Avanços, Barreiras e Agenda de Pesquisa

BIM in Building Operation and Maintenance: Advances, Barriers, and a Research Agenda

Celei Martins Ferreira
Alex Gomes Pereira

Resumo: A fase de operação e manutenção (O&M) concentra parte significativa da vida útil de uma edificação e exige informações confiáveis, acessíveis e atualizadas sobre seus espaços, sistemas e ativos. Nesse contexto, o Building Information Modeling (BIM) pode apoiar a gestão predial ao conectar representações digitais a dados necessários para inspeções, manutenção, planejamento de intervenções e tomada de decisão. Apesar desse potencial, a integração entre BIM e O&M permanece marcada por dificuldades relacionadas à qualidade e à estrutura dos dados, à interoperabilidade entre plataformas, à definição dos requisitos de informação e à participação dos profissionais responsáveis pela operação desde as etapas iniciais do empreendimento. Este estudo desenvolve uma síntese analítica da revisão sistemática apresentada por Reis, Diniz e Maciel (2023), que selecionou 62 estudos sobre BIM aplicado à operação e manutenção. A discussão organiza os achados em torno das abordagens de pesquisa, das aplicações identificadas, dos desafios de implementação e das lacunas observadas, com atenção especial ao contexto brasileiro e às edificações públicas. Os resultados sintetizados indicam predominância de estudos de caso e de pesquisas voltadas à implantação da metodologia, enquanto são menos frequentes os trabalhos que avaliam seu uso continuado após a implementação. Conclui-se que o avanço do BIM para O&M depende não apenas de ferramentas digitais, mas também de governança da informação, processos organizacionais, padrões de entrega e evidências de desempenho em condições reais.

Palavras-chave: BIM; operação e manutenção; gestão de ativos; facilities management; edificações públicas.

Abstract: The operation and maintenance (O&M) phase accounts for a significant portion of a building's lifecycle and requires reliable, accessible, and up-to-date information regarding its spaces, systems, and assets. In this context, Building Information Modeling (BIM) can support facility management by linking digital representations to the data necessary for inspections, maintenance, intervention planning, and decision-making. Despite this potential, the integration of BIM and O&M remains hindered by challenges related to data quality and structure, interoperability between platforms, the definition of information requirements, and the involvement of O&M professionals from the earliest stages of a project. This article provides an analytical synthesis of a systematic literature review by Reis, Diniz, and Maciel (2023), which examined 62 studies on the application of BIM in operation and maintenance. The discussion organizes the findings around research approaches, identified applications, implementation challenges, and observed gaps, with a particular focus on the Brazilian context and public buildings. The synthesized results indicate a predominance of case studies and research centered on the implementation of the methodology, while studies evaluating its continued use post-implementation are less frequent. It is concluded that the advancement of BIM for O&M depends not only on digital tools but also on information governance, organizational processes, delivery standards, and evidence of performance under real-world conditions.

DOI: 10.47573/aya.5379.3.8.23

Keywords: BIM; operation and maintenance; asset management; facilities management; public buildings.

INTRODUÇÃO

A operação e a manutenção constituem etapas decisivas para o desempenho de uma edificação ao longo de sua vida útil. É nesse período que administradores, equipes técnicas e usuários precisam localizar informações sobre sistemas construtivos, equipamentos, garantias, histórico de intervenções, condições de funcionamento e procedimentos de manutenção. Quando esses dados estão dispersos, incompletos ou desatualizados, tarefas rotineiras podem demandar mais tempo, aumentar o risco de erros e dificultar o planejamento dos recursos necessários.

A literatura aponta que o Building Information Modeling (BIM) pode funcionar como uma fonte estruturada de informação para apoiar decisões relacionadas à edificação durante diferentes fases de seu ciclo de vida (Akinradewo *et al.,* 2022). Essa possibilidade, contudo, não decorre apenas da existência de um modelo tridimensional. Para que o BIM seja útil à operação e à manutenção, os elementos representados precisam estar associados a informações pertinentes, confiáveis e compreensíveis para quem realiza a gestão dos ativos. Por essa razão, o BIM deve ser entendido como uma abordagem de gestão da informação e de coordenação entre processos e profissionais, e não somente como uma ferramenta de modelagem (Eadie *et al.,* 2013; Wang; Liu, 2020). Na construção civil, a integração entre BIM e operação e manutenção também depende da forma como as informações são produzidas e transferidas ao longo do empreendimento. As decisões tomadas nas etapas de planejamento, projeto e execução influenciam diretamente a qualidade dos dados disponíveis para a gestão futura da edificação. Quando requisitos operacionais não são considerados desde o início, informações importantes sobre materiais, equipamentos, sistemas, garantias e procedimentos podem não ser registradas ou chegar incompletas aos responsáveis pela operação. Assim, a aplicação do BIM em O&M conecta a gestão predial às práticas de projeto e construção, favorecendo a continuidade da informação entre os agentes envolvidos e contribuindo para reduzir falhas na entrega do ativo construído.

A relevância dessa integração é reforçada pela duração da fase de O&M e pelos custos associados à conservação, à utilização e à manutenção dos sistemas prediais. Lu *et al.* (2018) observam que essa fase pode representar parcela expressiva dos custos totais da edificação. Ao mesmo tempo, práticas convencionais de gestão, baseadas em registros manuais ou em sistemas não integrados, podem contribuir para perda de dados, duplicação de tarefas e dificuldade de acesso ao histórico dos ativos (Demian; Walters, 2014). A incorporação de informações BIM à gestão predial tem sido associada à possibilidade de organizar registros do ciclo de vida e melhorar o acesso a dados relevantes para as equipes de operação (Pinti; Codinhoto; Bonelli, 2022).

Esse potencial convive com um problema recorrente: a transferência de informações entre projeto, construção e operação nem sempre ocorre de forma estruturada. Em muitos empreendimentos, os dados são produzidos para atender às necessidades de projeto e obra, mas não necessariamente aos requisitos dos gestores e das equipes de manutenção. Como consequência, o modelo entregue pode conter informação insuficiente, excessiva ou inadequada para as atividades de O&M (Rogage; Greenwood, 2020; Tsay; Staub-French; Poirier, 2022). A simples entrega de um modelo, portanto, não assegura que ele possa ser incorporado aos processos operacionais.

A situação é especialmente complexa em edificações públicas. Universidades, hospitais e edifícios governamentais podem abranger grande número de ambientes, sistemas técnicos e usuários, além de apresentar diferentes padrões de registro e responsabilidades administrativas. A escala e a diversidade de usos tornam a gestão da informação particularmente desafiadora, ao mesmo tempo que aumentam o valor potencial de uma base confiável para acompanhar ativos e intervenções (Volk; Stengel; Schultmann, 2014). Em organizações públicas, também é necessário considerar a continuidade da informação entre equipes, contratos e períodos administrativos.

Diante desse cenário, Reis, Diniz e Maciel (2023) realizaram um mapeamento e uma revisão da literatura sobre o uso do BIM na operação e manutenção. O estudo reuniu 62 artigos e identificou temas como implantação do BIM-FM, interoperabilidade, gestão de dados, tecnologias de apoio, aplicações em edificações existentes e estudos de caso. A revisão também destacou a escassez de pesquisas brasileiras e de evidências sobre o funcionamento do BIM O&M após sua implantação.

Este estudo amplia a discussão desses achados por meio de uma síntese analítica. Seu objetivo é examinar as principais contribuições e limitações apontadas na literatura reunida pelos autores, relacionando-as às condições necessárias para que modelos BIM apoiem efetivamente a operação e a manutenção. Para isso, são abordadas quatro dimensões: a natureza das pesquisas publicadas, os usos e as tecnologias explorados, os desafios organizacionais e informacionais e as lacunas que orientam investigações futuras.

METODOLOGIA

Delineamento do Estudo

Este trabalho foi desenvolvido como uma síntese analítica de uma revisão sistemática publicada, tomando como base o estudo de Reis, Diniz e Maciel (2023). Não foram realizadas novas buscas em bases de dados, atualização do corpus ou reclassificação independente dos artigos selecionados. Assim, os números e as categorias apresentados a seguir correspondem aos resultados relatados pelos autores da revisão original, e não a uma nova coleta de dados.

Essa delimitação é importante porque uma revisão sistemática depende de procedimentos explícitos e reproduzíveis de busca, seleção e análise. A apresentação de uma nova contagem de estudos exigiria repetir as buscas nas bases, documentar as datas, os filtros, as estratégias completas e os critérios de inclusão e exclusão. Neste estudo, a contribuição consiste em organizar e interpretar os resultados publicados, relacionando os temas identificados e discutindo suas implicações para pesquisas e práticas de gestão predial.

Procedimentos da Revisão de Referência

A revisão de Reis, Diniz e Maciel (2023) foi estruturada com base em orientações para mapeamento sistemático da literatura, conforme Falbo (2018), e em procedimentos de estudos de mapeamento sistemático discutidos por Petersen, Vakkalanka e Kuzniarz (2015). Os autores consultaram as bases Scopus, Web of Science e ScienceDirect, selecionadas pela abrangência e pela presença de publicações científicas relacionadas à área.

As expressões de busca combinaram o termo BIM com termos associados à operação e manutenção, à manutenção predial, ao gerenciamento de instalações e a edifícios públicos. As buscas em inglês e português foram compostas por operadores booleanos, empregando AND para relacionar conceitos obrigatórios e OR para incluir termos próximos ou sinônimos. A opção de priorizar expressões referentes à operação, à manutenção e à gestão de instalações, em vez de utilizar apenas o termo “7D”, buscou reduzir a recuperação de estudos que mencionassem dimensões do BIM sem tratar diretamente de O&M.

Foram aplicados filtros relativos ao período de publicação, à área de conhecimento, ao tipo documental e ao idioma. O estudo considerou artigos publicados entre 2012 e o momento da busca, nas áreas de engenharia e arquitetura, em português ou inglês. Após a recuperação inicial, os autores removeram registros duplicados e realizaram a seleção por etapas, com leitura de títulos, resumos e textos completos.

Seleção e Organização dos Estudos

A busca inicial identificou 613 registros. Após a remoção de duplicatas, permaneceram 426 artigos. A seleção por títulos reduziu o conjunto a 129 estudos; a análise dos resumos resultou em 96 textos; e a leitura integral levou à seleção final de 62 artigos, considerados pertinentes ao tema da revisão.

Na análise dos estudos selecionados, Reis, Diniz e Maciel (2023) organizaram os achados segundo aspectos como método de pesquisa, temática predominante, desafios de implantação, localização dos estudos e tipos de edificações analisadas. Um mesmo estudo podia contribuir para mais de uma categoria temática. Por essa razão, as quantidades por tema não devem ser interpretadas necessariamente como grupos mutuamente exclusivos.

Limites da Síntese

A interpretação dos resultados deve considerar os limites do próprio corpus. A revisão de referência restringiu a busca a três bases, a dois idiomas, a um intervalo temporal e a artigos científicos. A exclusão de teses, relatórios técnicos, normas e outros tipos documentais pode ter deixado de fora experiências aplicadas relevantes, particularmente aquelas conduzidas por órgãos públicos e operadores de edifícios.

Além disso, a combinação de palavras-chave pode influenciar quais estudos são recuperados. A literatura pode empregar denominações distintas para gestão de instalações, gestão de ativos, manutenção predial e modelos de informação, o que torna difícil garantir cobertura integral do campo. Portanto, os resultados devem ser compreendidos como um panorama do conjunto selecionado pela estratégia descrita, e não como inventário definitivo de toda a produção sobre BIM O&M.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Perfil Metodológico: Concentração em Estudos de Caso

Entre os métodos identificados, os estudos de caso foram predominantes, correspondendo a 45% das pesquisas classificadas. Análises e trabalhos com dados representaram 19%, estudos teóricos, 23%, e entrevistas com profissionais da engenharia, arquitetura e construção, 13% (Reis; Diniz; Maciel, 2023).

A predominância de estudos de caso é coerente com a natureza aplicada do tema. A implantação do BIM para O&M depende de condições específicas, como os processos internos do proprietário, a qualidade dos dados disponíveis, os sistemas de gestão utilizados e as competências da equipe. Estudos em edifícios reais permitem observar como essas variáveis interagem e onde surgem dificuldades que podem não ser aparentes em propostas conceituais.

No entanto, a concentração em estudos de implantação também apresenta uma limitação. Um caso pode demonstrar que é possível estruturar um fluxo de trabalho ou integrar dados para uma aplicação delimitada, mas não necessariamente comprova que a solução seja sustentável no longo prazo, replicável em outros edifícios ou economicamente vantajosa. Por isso, é relevante distinguir entre estudos que desenvolvem um modelo ou protótipo e pesquisas que acompanham sua utilização continuada, avaliando efeitos sobre custos, prazos, qualidade da manutenção e desempenho dos ativos.

A literatura analisada também reúne trabalhos teóricos e pesquisas baseadas em dados, que contribuem para definir requisitos, fluxos de informação e critérios de gestão. Esses estudos são importantes porque a implementação não depende somente de software: exige decisões sobre quais informações devem ser entregues, quem será responsável por mantê-las e como serão atualizadas ao longo da operação (Cavka; Staub-French; Poirier, 2017; Matarneh *et al.,* 2020; Patacas; Dawood; Kassem, 2020).

Temas Recorrentes e Aplicações Identificadas

A revisão identificou como tema mais frequente as metodologias de implantação do BIM-FM, com 17 artigos. Em seguida apareceram benefícios e desafios do BIM O&M, com 11 estudos; interoperabilidade e integração entre BIM e sistemas computadorizados de gestão da manutenção, com nove; sistemas e programação para manutenção, com oito; operação e manutenção, com sete; realidade aumentada e realidade virtual, com cinco; fotogrametria e escaneamento, com quatro; HBIM e tecnologias associadas, com três estudos em cada categoria, segundo a classificação apresentada pelos autores.

A concentração em metodologias de implantação revela que a comunidade científica ainda busca estabelecer as condições necessárias para tornar os modelos utilizáveis na operação. Essa agenda inclui a definição de requisitos de informação, a preparação dos modelos para entrega, a validação dos dados e a integração com os processos das equipes de gestão predial. Trabalhos sobre requisitos do proprietário, planos de execução BIM e ambientes comuns de dados, por exemplo, tratam da necessidade de planejar a informação desde antes da entrega do ativo (Cavka; Staub-French; Poirier, 2017; Lin *et al.,* 2016; Patacas; Dawood; Kassem, 2020).

Outra linha importante está relacionada à integração de modelos BIM com sistemas de gestão de instalações e de manutenção. Pesquisas sobre transferência de dados e modelos de informação destacam que os dados não circulam automaticamente entre plataformas: os formatos, as estruturas e os significados atribuídos aos campos podem variar, gerando incompatibilidades ou perda de conteúdo (Heaton; Parlikad; Schooling, 2019; Rogage; Greenwood, 2020; Marmo *et al.,* 2020). A integração precisa, portanto, ser tratada como um problema de processo e de governança da informação, além de uma questão técnica.

Também foram identificadas aplicações que combinam BIM com tecnologias de visualização e captura de dados. Realidade virtual e realidade aumentada podem apoiar inspeções, revisões de projeto e acesso visual a informações de manutenção (Carreira *et al.,* 2018; Khalek; Chalhoub; Ayer, 2019; Bholde; Zadeh; Staub-French, 2022). Fotogrametria, escaneamento a laser e técnicas de verificação visual contribuem para documentar edificações existentes e comparar a condição construída com os registros disponíveis (Jung *et al.,* 2014; Klein; Li; Becerik-Gerber, 2012; Moreno *et al.,* 2022).

Outra vertente associa BIM, Internet das Coisas e monitoramento de desempenho. Nesses estudos, sensores podem fornecer dados atualizados sobre sistemas e condições de uso, enquanto o modelo funciona como meio de relacionar a informação a componentes e espaços específicos (Kang; Lin; Zhang, 2018; Villa *et al.,* 2021; Harode; Ensafi; Thabet, 2022). Essas soluções apontam para possibilidades de gestão mais dinâmica, embora sua utilidade dependa da qualidade dos sensores, da manutenção dos dispositivos e da integração consistente entre os dados coletados e os ativos modelados.

A revisão ainda identificou trabalhos de HBIM, voltados a edifícios históricos e patrimoniais. Nesses casos, o desafio inclui representar características construtivas singulares e integrar informações de conservação e intervenção ao modelo (Brumana *et al.,* 2018; Hull; Ewart, 2020; Yusoff; Brahim, 2021). A contribuição do HBIM não se restringe à representação geométrica: requer parâmetros que documentem materiais, condições, valor patrimonial e histórico de intervenções.

Desafios para a Implantação do BIM O&M

- Interoperabilidade e integração de sistemas

A interoperabilidade é um dos obstáculos mais persistentes. A gestão de manutenção costuma ocorrer em sistemas próprios, enquanto as informações BIM podem estar organizadas em plataformas e formatos distintos. Mesmo quando existe possibilidade técnica de exportação, a transferência pode alterar a estrutura dos dados, eliminar atributos ou dificultar a associação entre elementos do modelo e registros de manutenção. Rogage e Greenwood (2020) analisam os problemas de transferência entre modelos digitais de ativos construídos e sistemas de O&M, enquanto outros trabalhos propõem fluxos de integração, padrões abertos e ferramentas de apoio à validação (Heaton; Parlikad; Schooling, 2019; Hu *et al.,* 2018; Chen; Tang, 2019; Patacas; Dawood; Kassem, 2020).

A interoperabilidade, portanto, não deve ser avaliada apenas pela capacidade de abrir um arquivo em diferentes programas. A questão central é se a informação permanece íntegra, identificável e útil no sistema que a equipe operacional realmente utiliza. Isso requer acordos sobre formatos, identificadores, atributos, responsabilidades e procedimentos de atualização.

- Qualidade, pertinência e atualização da informação

Um modelo pode conter grande quantidade de dados sem ser adequado à operação. A informação precisa corresponder às atividades que serão realizadas: localizar equipamentos, consultar manuais, registrar ocorrências, programar inspeções ou analisar custos de ciclo de vida. A seleção de dados deve equilibrar completude e usabilidade. Um modelo sobrecarregado pode dificultar a consulta, enquanto um modelo simplificado demais pode não atender às necessidades de manutenção.

A definição dos requisitos de informação do proprietário e dos gestores é, por isso, uma etapa central. Estudos sobre entrega de informações de ativos e competências dos proprietários destacam a necessidade de estabelecer expectativas claras para o modelo e para os dados que serão recebidos (Giel; Issa, 2016; Tsay; Staub-French; Poirier, 2022). A discussão sobre padrões como COBie também se insere nesse esforço de organizar a entrega de dados necessários à operação, embora a adoção de um padrão, por si só, não assegure que a informação esteja correta ou atualizada (Eadie *et al.,* 2013; Yang *et al.,* 2021).

- Participação dos profissionais de operação e manutenção

A equipe de O&M precisa participar da definição dos requisitos antes da entrega do empreendimento. Quando os profissionais responsáveis pela operação

são envolvidos somente após a conclusão da obra, o modelo pode refletir prioridades de projeto e construção, sem contemplar adequadamente as necessidades de manutenção. Essa desconexão contribui para entregas que exigem retrabalho e para a criação de bases de dados paralelas.

A participação antecipada permite identificar quais informações são efetivamente necessárias, como os ativos serão localizados e quais processos deverão ser apoiados pelo modelo. Também favorece a definição de responsabilidades para verificar, corrigir e manter os dados. A literatura sobre o processo de entrega de informações para facilities management aponta que o alinhamento entre projetistas, proprietários e gestores é tão importante quanto a disponibilidade de tecnologias (Khalek; Chalhoub; Ayer, 2019; Tsay; Staub-French; Poirier, 2022).

- Barreiras organizacionais e institucionais

A implantação do BIM O&M implica mudanças nos fluxos de trabalho, nos papéis profissionais e nas práticas de gestão. Por isso, soluções tecnicamente viáveis podem não ser adotadas se as equipes não tiverem capacitação, tempo, recursos ou apoio institucional. A literatura sobre gestão de instalações enfatiza que os benefícios do BIM dependem de processos organizacionais e da capacidade de incorporar a informação às rotinas de trabalho (Bosch; Volker; Koutamanis, 2015; Gurevich; Sacks; Shrestha, 2017).

Essa questão é particularmente significativa em instituições públicas, nas quais a gestão dos ativos pode envolver múltiplos setores, contratos e padrões de documentação. O uso de BIM pode apoiar a continuidade da informação, mas a organização precisa definir quem mantém os dados, como são registrados os serviços executados e quais critérios orientam a atualização dos modelos.

- Escassez de evidências de uso prolongado

A revisão aponta que há muitos trabalhos voltados à tentativa de implantação, mas menos estudos que acompanhem o BIM O&M em funcionamento depois dessa etapa. A lacuna limita a compreensão dos benefícios efetivamente alcançados, dos custos recorrentes de manutenção da informação e das condições que favorecem a continuidade da solução. Também dificulta a comparação entre diferentes estratégias de implantação.

A ausência de evidências de longo prazo pode reduzir a confiança de proprietários e gestores. Demonstrações de modelos, protótipos e estudos delimitados ajudam a testar conceitos, mas não substituem avaliações em situações reais de operação. A agenda de pesquisa precisa avançar da pergunta “como implantar?” para questões como “como manter o sistema?”, “Quais resultados são mensuráveis?” e “Em que condições a solução compensa o investimento?”.

Distribuição Geográfica e Contexto Brasileiro

Entre os 48 estudos para os quais a revisão identificou localidade, o Reino Unido apareceu com dez trabalhos, os Estados Unidos com sete, o Canadá com cinco e a Itália com quatro. China, Espanha e Irã tiveram três estudos cada. O Brasil apareceu com um estudo, conforme o levantamento apresentado por Reis, Diniz e Maciel (2023).

Os autores relacionam a concentração de estudos em determinados países a diferenças de investimento, políticas e estímulos institucionais. A observação é relevante, mas deve ser interpretada com cautela: o número de publicações recuperadas também depende das bases consultadas, dos idiomas incluídos e dos termos empregados nas buscas. Ainda assim, a reduzida presença brasileira no corpus evidencia uma lacuna importante e a necessidade de ampliar pesquisas em contextos locais.

No Brasil, a aplicação do BIM em edifícios públicos precisa considerar condições próprias de gestão, disponibilidade de dados, contratação de serviços, capacitação das equipes e heterogeneidade do parque edificado. A produção de estudos de caso em universidades e órgãos públicos poderia ajudar a documentar essas condições, avaliar estratégias de implantação e desenvolver requisitos de informação compatíveis com práticas e sistemas nacionais. A existência de uma estratégia ou política de incentivo, por si só, não substitui a avaliação de como o BIM está sendo utilizado no cotidiano das instituições.

Tipos de Edificação Estudados

As edificações universitárias foram o tipo mais frequente entre os estudos de caso, com 14 ocorrências. Em seguida, apareceram hospitais, com cinco; edifícios históricos, com quatro; edifícios governamentais e empresariais, com dois cada; e outras tipologias, como aeroportos, escolas, edifícios fabris e residenciais multifamiliares (Reis; Diniz; Maciel, 2023).

A presença de universidades pode refletir a facilidade de acesso a ambientes de estudo e a disponibilidade de equipes interessadas em testar ferramentas. Esses edifícios também apresentam diversidade de espaços, equipamentos e usuários, tornando-os ambientes relevantes para analisar demandas de manutenção e gestão. Estudos em universidades examinaram aplicações que vão desde gestão espacial até manutenção de equipamentos e sistemas de iluminação (Pavón; Arcos Alvarez; Alberti, 2020; Ma; Song; Shang, 2020; Fialho *et al.,* 2022).

A concentração em poucas tipologias, contudo, limita a generalização dos resultados. Hospitais, edifícios históricos, aeroportos e instalações governamentais possuem requisitos operacionais distintos. É necessário ampliar a diversidade dos casos e observar como a finalidade do edifício, a criticidade dos sistemas e a estrutura organizacional influenciam o desenho dos modelos e os processos de gestão.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A síntese da revisão de Reis, Diniz e Maciel (2023) mostra que o BIM aplicado à operação e manutenção é um campo em expansão, mas ainda marcado pela predominância de pesquisas sobre implantação, estruturação de dados e desenvolvimento de métodos. Os estudos de caso contribuem para revelar dificuldades concretas, enquanto pesquisas teóricas e baseadas em dados

ajudam a formular requisitos e fluxos de trabalho. A principal lacuna identificada é a quantidade limitada de evidências sobre o uso continuado do BIM O&M depois da implantação.

Nesse sentido, cabe à construção civil tratar a entrega de informações para O&M como parte do processo de produção do empreendimento, articulando projetistas, construtores, proprietários e equipes de operação desde as etapas iniciais.

Os desafios discutidos não são exclusivamente tecnológicos. Interoperabilidade, qualidade dos dados e compatibilidade entre sistemas são problemas importantes, mas sua resolução depende também de decisões organizacionais: quem define os requisitos, quem valida a informação, quem atualiza o modelo e como os dados se conectam às rotinas de manutenção. A participação dos profissionais de O&M desde as etapas iniciais e a definição clara das informações necessárias são condições fundamentais para evitar entregas que não correspondam às demandas operacionais.

Para futuras pesquisas, destacam-se três prioridades: avaliar sistemas BIM O&M em uso durante períodos prolongados; desenvolver e testar estratégias de integração entre modelos e plataformas de gestão; e ampliar estudos em organizações públicas brasileiras, com diversidade de tipologias e contextos institucionais. Pesquisas dessa natureza podem produzir evidências mais sólidas sobre custos, benefícios, requisitos de capacitação e condições de replicabilidade.

Por fim, esta síntese está limitada ao corpus e aos procedimentos descritos na revisão utilizada como referência. Uma atualização da revisão exigiria novas buscas, critérios explícitos e conferência individual das publicações. Antes de submeter o texto, também é necessário revisar todas as referências, eliminar duplicatas e confirmar que cada citação sustenta a afirmação à qual está associada.

REFERÊNCIAS

ABDIRAD, H.; DOSSICK, C. S. Rebaselining asset data for existing facilities and infrastructure. **Journal of Computing in Civil Engineering**, 2020.

AKINRADEWO, O. *et al.* Key requirements for effective implementation of building information modelling for maintenance management. **International Journal of Construction Management**, p. 1–9, 2022.

ALVANCHI, A.; SEYRFAR, A. **Improving facility management of public hospitals in Iran using building information modeling**. Scientia Iranica, 2020.

ASARE, K. A. B. *et al.* BIM for facilities management: potential legal issues and opportunities. **Journal of Legal Affairs and Dispute Resolution in Engineering and Construction**, 2021.

BADENKO, V. L. *et al.* Integration of digital twin and BIM technologies within factories of the future. **Magazine of Civil Engineering,** 2021.

BAZÁN, Á. M. *et al.* **BIM-based methodology for the management of public heritage: case study, Algeciras market hall**. Applied Sciences, 2021.

BHONDE, D.; ZADEH, P.; STAUB-FRENCH, S. Evaluating the use of virtual reality for maintainability-focused design reviews. **Journal of Information Technology in Construction**, v. 27, p. 253–272, 2022.

BOSCH, A.; VOLKER, L.; KOUTAMANIS, A. BIM in the operations stage: bottlenecks and implications for owners. B**uilt Environment Project and Asset Management**, 2015.

BRUMANA, R. *et al.* **Generative HBIM modelling to embody complexity (LOD, LOG, LOA, LOI): surveying, preservation, site intervention—the Basilica di Collemaggio (L'Aquila)**. Applied Geomatics**,** 2018.

BURAK CAVKA, H. *et al.* Levels of BIM compliance for model handover. **Journal of Information Technology in Construction**, v. 23, p. 243–258, 2018.

CARREIRA, P. *et al.* Virtual reality as integration environments for facilities management: application and users' perception. **Engineering, Construction and Architectural Management**, 2018.

CAVKA, H. B.; STAUB-FRENCH, S.; POIRIER, E. A. **Developing owner information requirements for BIM-enabled project delivery and asset management**. Automation in Construction**,** 2017.

CHEN, C.; TANG, L. **BIM-based integrated management workflow design for schedule and cost planning of building fabric maintenance**. Automation in Construction, 2019.

CONDOTTA, M.; SCANAGATTA, C. BIM-based method to inform operation and maintenance phases through a simplified procedure. **Journal of Building Engineering**, v. 65, p. 105730, 2023.

DEMIAN, P.; WALTERS, D. **The advantages of information management through building information modelling**. Construction Management and Economics, v. 32, n. 12, p. 1153–1165, 2014.

EADIE, R. *et al.* **BIM implementation throughout the UK construction project lifecycle: an analysis**. Automation in Construction, v. 36, p. 145–151, 2013.

EL AMMARI, K.; HAMMAD, A. **Remote interactive collaboration in facilities management using BIM-based mixed reality**. Automation in Construction, 2019.

ESKANDARI, N.; NOORZAI, E. **Offering a preventive solution to defects in commercial building facility system using BIM**. Facilities, 2021.

FALBO, R. A. **Mapeamento sistemático.** 2018. Disponível em: material de mapeamento sistemático. Acesso em: 22 set. 2026.

FALORCA, J. F. Main functions for building maintenance management: an outline application. **International Journal of Building Pathology and Adaptation,** 2019.

FIALHO, B. C. *et al.* **Development of a BIM and IoT-based smart lighting maintenance system prototype for universities' FM sector**. Buildings, v. 12, n. 2, 2022.

GARCÍA-GRANJA, M. J. *et al.* **Development of an innovative seat reservation system for university buildings based on BIM technology**. Buildings, v. 12, n. 11, p. 1786, 2022.

GIEL, B.; ISSA, R. R. A. Framework for evaluating the BIM competencies of facility owners. **Journal of Management in Engineering**, 2016.

GUILLEN, A. J. *et al.* **Building information modeling as an asset management tool**. IFAC-PapersOnLine, v. 49, n. 28, p. 191–196, 2016.

GUREVICH, U.; SACKS, R.; SHRESTHA, P. **BIM adoption by public facility agencies: impacts on occupant value**. Building Research & Information, 2017.

HALMETOJA, E. **The conditions data model supporting building information models in facility management**. Facilities, 2019.

HALMETOJA, E.; LEPKOVA, N. Utilising building information models in facility maintenance and operations. **Teknik Dergi/Technical Journal of Turkish Chamber of Civil Engineers**, 2022.

HANDAYANIPUTRI, A. *et al.* Development of e-maintenance in green building maintenance and repair work of government buildings based on work breakdown structure using building information modeling. **International Journal of Engineering Research and Technology**, 2019.

HARODE, A.; ENSAFI, M.; THABET, W. **Linking BIM to Power BI and HoloLens 2 to support facility management: a case study approach**. Buildings, v. 12, n. 6, p. 852, 2022.

HEATON, J.; PARLIKAD, A. K.; SCHOOLING, J. **Design and development of BIM models to support operations and maintenance.** Computers in Industry, 2019.

HU, Z. Z. *et al.* **BIM-based integrated delivery technologies for intelligent MEP management in the operation and maintenance phase**. Advances in Engineering Software, v. 115, p. 1–16, 2018.

HULL, J.; EWART, I. J. **Conservation data parameters for BIM-enabled heritage asset management.** Automation in Construction, 2020.

JUNG, J. *et al.* **Productive modeling for development of as-built BIM of existing indoor structures**. Automation in Construction, 2014.

KANG, K.; LIN, J.; ZHANG, J. BIM- and IoT-based monitoring framework for building performance management. **Journal of Structural Integrity and Maintenance,** 2018.

KENSEK, K. **BIM guidelines inform facilities management databases: a case study over time**. Buildings, v. 5, n. 3, p. 899, 2015.

KHALEK, I. A.; CHALHOUB, J. M.; AYER, S. K. **Augmented reality for identifying maintainability concerns during design**. Advances in Civil Engineering, 2019.

KLEIN, L.; LI, N.; BECERIK-GERBER, B. **Image-based verification of as-built documentation of operational buildings.** Automation in Construction, 2012.

KULA, B.; ERGEN, E. Implementation of a BIM-FM platform at an international airport project: case study. **Journal of Construction Engineering and Managemen**t, v. 147, n. 4, 2021.

LEYGONIE, R.; MOTAMEDI, A.; IORDANOVA, I. Development of quality improvement procedures and tools for facility management BIM. **Developments in the Built Environment,** 2022.

LIN, Y. C. *et al.* **Development of BIM execution plan for BIM model management during the pre-operation phase: a case study**. Buildings, v. 6, n. 1, 2016.

LU, Q. *et al.* **Activity theory-based analysis of BIM implementation in building O&M and first response**. Automation in Construction, v. 85, p. 317–332, 2018.

MA, G.; SONG, X.; SHANG, S. BIM-based space management system for operation and maintenance phase in educational office buildings. J**ournal of Civil Engineering and Management**, 2020.

MA, Z. *et al.* **Data-driven decision-making for equipment maintenance.** Automation in Construction, 2020.

MARMO, R. *et al.* **Building performance and maintenance information model based on IFC schema.** Automation in Construction, 2020.

MATARNEH, S. T. *et al.* **BIM for FM: developing information requirements to support facilities management systems**. Facilities, 2020.

MORENO, J. V. *et al.* **Dynamic data feeding into BIM for facility management: a prototype application to a university building**. Buildings, v. 12, n. 5, p. 645, 2022.

MOTAMEDI, A.; HAMMAD, A.; ASEN, Y. **Knowledge-assisted BIM-based visual analytics for failure root cause detection in facilities management**. Automation in Construction, v. 43, p. 73–83, 2014.

MOTAWA, I.; ALMARSHAD, A. **Case-based reasoning and BIM systems for asset management.** Built Environment Project and Asset Management, 2015.

PATACAS, J. *et al.* Supporting building owners and facility managers in the validation and visualisation of asset information models (AIM) through open standards and open technologies. **Journal of Information Technology in Construction**, 2016.

PATACAS, J.; DAWOOD, N.; KASSEM, M. **BIM for facilities management: a framework and a common data environment using open**

standards. Automation in Construction, 2020.

PAVÓN, R. M.; ARCOS ALVAREZ, A. A.; ALBERTI, M. G. **BIM-based educational and facility management of large university venues**. Applied Sciences, v. 10, n. 22, p. 7976, 2020.

PETERSEN, K.; VAKKALANKA, S.; KUZNIARZ, L. **Guidelines for conducting systematic mapping studies in software engineering: an update.** Information and Software Technology, v. 64, p. 1–18, 2015.

PINTI, L.; CODINHOTO, R.; BONELLI, S. **A review of building information modelling (BIM) for facility management (FM): implementation in public organisations**. Applied Sciences, v. 12, n. 3, p. 1540, 2022.

PISHDAD-BOZORGI, P. *et al.* **Planning and developing facility management-enabled building information model (FM-enabled BIM)**. Automation in Construction, v. 87, p. 22–38, 2018.

RAD, M. A. H. *et al.* **BIM-based approach to conduct life cycle cost analysis of resilient buildings at the conceptual stage**. Automation in Construction, 2021.

RAFSANJANI, H. N.; NABIZADEH, A. H. **Towards digital architecture, engineering, and construction (AEC) industry through virtual design and construction (VDC) and digital twin**. Energy and Built Environment, 2021.

RE CECCONI, F.; MALTESE, S.; DEJACO, M. C. **Leveraging BIM for digital built environment asset management.** Innovative Infrastructure Solutions, 2017.

ROGAGE, K.; GREENWOOD, D. Data transfer between digital models of built assets and their operation & maintenance systems. **Journal of Information Technology in Construction,** 2020.

TSAY, G. S.; STAUB-FRENCH, S.; POIRIER, É. **BIM for facilities management: an investigation into the asset information delivery process and the associated challenges**. Applied Sciences, v. 12, n. 19, p. 9542, 2022.

ULLAH, K.; WITT, E.; LILL, I. **The BIM-based building permit process: factors affecting adoption**. Buildings, v. 12, n. 1, p. 45, 2022.

UM, J. *et al.* **Low-cost mobile augmented reality service for building information modeling**. Automation in Construction, 2023.

VILLA, V. *et al.* **IoT open-source architecture for the maintenance of building facilities**. Applied Sciences, v. 11, n. 12, p. 5374, 2021.

VOLK, R.; STENGEL, J.; SCHULTMANN, F. **Building information modeling (BIM) for existing buildings—literature review and future needs**. Automation in Construction, v. 38, p. 109–127, 2014.

WANG, Z. *et al.* **A route optimization model based on building semantics, human factors, and user constraints to enable personalized travel in complex public facilities**. Automation in Construction, v. 133, p. 103984, 2022.

WANG, Z.; LIU, J. **A seven-dimensional building information model for the improvement of construction efficiency**. Advances in Civil Engineering, v. 2020, p. 1–17, 2020.

WIJEKOON, C.; MANEWA, A.; ROSS, A. D. **Enhancing the value of facilities information management (FIM) through BIM integration**. Engineering, Construction and Architectural Management, 2020.

YANG, L. H. *et al.* Building information model and optimization algorithms for supporting campus facility maintenance management: a case study of maintaining water dispensers. **KSCE Journal of Civil Engineering**, 2021.

YOON, J. H.; CHA, H. S.; KIM, J. Three-dimensional location-based O&M data management system for large commercial office buildings. **Journal of Performance of Constructed Facilities**, 2019.

YUSOFF, S. N. S.; BRAHIM, J. Implementation of building information modeling (BIM) for social heritage buildings in Kuala Lumpur. **International Journal of Sustainable Construction Engineering and Technology,** v. 12, n. 1, 2021.

ZHAO, J. *et al.* Developing a conceptual framework for the application of digital twin technologies to revamp building operation and maintenance processes. **Journal of Building Engineering,** v. 49, 2022.