



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL**



**MONITORAMENTO DE EDIFICAÇÕES COM USO DE BIM E
SENSORES IOT: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DA
LITERATURA**

**Marcos Ryan da Silva Queiroz
Maria Gabriella Barbosa Rebelo**

**Belém - PA
Julho/2026**

**MARCOS RYAN DA SILVA QUEIROZ
MARIA GABRIELLA BARBOSA REBELO**

**MONITORAMENTO DE EDIFICAÇÕES COM USO DE BIM E
SENSORES IOT: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DA
LITERATURA**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado a Faculdade de Engenharia
Civil do Instituto de Tecnologia da
Universidade Federal do Pará, como parte
dos requisitos para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil.

**Orientadora: Prof. Nívea Gabriela
Benevides de Albuquerque.
Co-orientador: Prof. Felipe de Sá
Moreira.**

**Belém - PA
Julho/2026**

**MARCOS RYAN DA SILVA QUEIROZ
MARIA GABRIELLA BARBOSA REBELO**

**MONITORAMENTO DE EDIFICAÇÕES COM USO DE BIM E
SENSORES IOT: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DA
LITERATURA**

Belém, 10 de julho de 2026

Prof.a. Nívea Gabriela Benevides
de Albuquerque
Dra. pela UnB
Orientadora

Prof. Prof. Felipe de Sá Moreira
Dr. pela UFPA
Co-orientador

BANCA EXAMINADORA

Prof. Christiane Lima Barbosa (UFPA)
Dra. pela UNICAMP

Prof. Paulo Márcio Da Silva Aranha (UFPA)
MSc. pela UFRGS

CONCEITO FINAL: _____

AGRADECIMENTOS

De Marcos Queiroz,

Primeiramente, agradeço a Deus, por me conceder saúde, força e sabedoria para superar os desafios ao longo desta trajetória e tornar possível a conclusão desta importante etapa da minha vida.

Aos meus pais, meu mais profundo agradecimento por todo o apoio, paciência e confiança depositados em mim. Obrigado por sempre acreditarem no meu potencial, mesmo nos momentos mais difíceis, e por serem minha maior fonte de incentivo para seguir em frente.

Aos meus orientadores, expresso minha sincera gratidão pelo suporte e disponibilidade durante todo o desenvolvimento deste trabalho. Suas orientações foram fundamentais para a realização desta pesquisa e para meu crescimento acadêmico.

Aos meus amigos Eduardo, Rafaele e Gabriela, agradeço a amizade, companheirismo e por compartilharem comigo toda essa caminhada ao longo da graduação. Os momentos de aprendizado, apoio e descontração tornaram essa jornada muito mais leve. Em especial agradeço a minha dupla de TCC Maria Gabriella por dividir cada etapa da elaboração deste trabalho, sendo sua colaboração fundamental para a concretização desta pesquisa.

À Building Engenharia Jr. e à Intec Construtora, agradeço a oportunidade de vivenciar experiências que enriqueceram minha formação profissional. Os conhecimentos práticos adquiridos nessas instituições foram essenciais para complementar minha formação acadêmica e ampliar minha visão sobre a Engenharia Civil.

Por fim, agradeço a todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho e para minha formação pessoal e profissional.

AGRADECIMENTOS

De Maria Gabriella,

Primeiramente, agradeço à minha família — meus pais, meu irmão e minha prima Nazielle — por todo o apoio ao longo dessa jornada.

Mãe, quero agradecer especialmente a você por todo o amor, cuidado e inspiração desde o início da minha existência. Você é meu alicerce, meu exemplo e o meu tudo. Obrigada por nunca medir esforços para que eu pudesse realizar meus sonhos.

Pai, obrigada pelos conselhos, pelo incentivo e por sempre acreditar em mim. Seu apoio e sua motivação foram fundamentais para que eu seguisse essa carreira com determinação.

Ao meu irmão, agradeço pelo amor, pela parceria e por sempre segurar minha mão ao longo dessa caminhada. Saber que podia contar com você tornou tudo mais leve.

Ao meu namorado, Robert, obrigada pelo carinho, pela paciência e pelo companheirismo. Você foi um dos meus portos seguros durante essa trajetória. Obrigada por dividir comigo cada conquista, por me fortalecer nos momentos difíceis e por tornar essa experiência universitária ainda mais especial e inesquecível. Você é minha família.

Ao meu parceiro de TCC, Marcos, agradeço por ter sido meu melhor amigo durante toda a universidade e por caminhar ao meu lado desde o início dessa jornada. Sua parceria, amizade e apoio fizeram toda a diferença. Sem você, esse caminho teria sido muito mais difícil.

À minha melhor amiga, Karol, que desde os meus sete anos de idade esteve ao meu lado em todos os momentos, oferecendo apoio, carinho e inspiração. Você foi essencial para que eu chegasse até aqui. Obrigada por cada conversa, cada conselho e por nunca deixar que eu desistisse.

Aos meus amigos Eduardo, Rafaele, Gabriela, Laís, Maria Clara, Ítalo e Matheus, agradeço por transformarem esses cinco anos na Universidade Federal do Pará em uma experiência muito mais leve e feliz. A amizade de vocês foi uma das maiores conquistas que a universidade me proporcionou. Obrigada por todas as conversas, risadas, aprendizados, momentos de alegria e pelos momentos em que choramos juntos.

Aos meus orientadores, Nívea e Felipe, minha sincera gratidão por todos os ensinamentos compartilhados ao longo desta pesquisa. Agradeço pela paciência, pelos conselhos, pelas orientações e, principalmente, pelo tempo, dedicação e confiança depositados neste trabalho. Levarei cada aprendizado comigo por toda a minha trajetória profissional.

Aos meus amigos Gabriel, Glenda e Júlia, sou profundamente grata pelo apoio, pela amizade e pelo carinho. Os conselhos, o acolhimento e o suporte emocional de vocês foram uma das minhas maiores âncoras para enfrentar os desafios e o peso que muitas vezes acompanham a vida universitária.

À Building Engenharia Jr., agradeço por todas as experiências vividas e pelos inúmeros ensinamentos. O conhecimento adquirido ao longo dessa jornada foi essencial para a minha formação profissional e teve grande influência na escolha da carreira que pretendo seguir.

Por fim, agradeço a todas as pessoas que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho e para a minha formação pessoal e profissional. Cada apoio, incentivo e gesto de carinho fizeram parte desta conquista, que hoje também pertence a todos vocês.

MONITORAMENTO DE EDIFICAÇÕES COM USO DE BIM E SENSORES IOT: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

Maria Gabriella Barbosa Rebelo¹; Marcos Ryan da Silva Queiroz²; Felipe de Sá
Moreira³; Nívea Gabriela da Silva Albuquerque⁴

- (1) Universidade Federal do Pará | ITEC - UFPA | maria.rebelo@itec.ufpa.br
(2) Universidade Federal do Pará | ITEC - UFPA | marcos.queiroz@itec.ufpa.br
(3) Professor Doutor | ITEC – UFPA | samoreira@ufpa.br
(4) Professora Doutora | ITEC – UFPA | nivea@ufpa.br

RESUMO

Sensores integrados a Internet das Coisas (IoT) e ao Building Information Modeling (BIM) tem se intensificado no gerenciamento e operação de construções. Este estudo teve como objetivo analisar a integração entre sensores IoT e BIM na construção civil por meio de uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL), na qual foram identificados 135 artigos nas bases Scopus e ScienceDirect, resultando na seleção de 24 estudos. As análises evidenciaram a convergência entre sensores, BIM e Gêmeo Digital, com predominância de sensores ambientais e estruturais voltados ao monitoramento e controle do desempenho das edificações. As principais barreiras identificadas foram o elevado custo de implementação, a necessidade de conhecimentos especializados e as dificuldades de interoperabilidade entre softwares. O trabalho contribuiu para melhor compreensão da implementação de sensores ao BIM e objetivos de aplicação.

Palavras-chave: Internet das Coisas (IoT). Building Information Modeling (BIM). Sensores. Gêmeo Digital. Monitoramento.

BUILDING MONITORING USING BUILDING INFORMATION MODELING (BIM) AND IOT SENSORS: A SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW

Maria Gabriella Barbosa Rebelo¹; Marcos Ryan da Silva Queiroz²; Felipe de Sá Moreira³; Nívea Gabriela da Silva Albuquerque⁴

(5) Universidade Federal do Pará | ITEC - UFPA | maria.rebelo@itec.ufpa.br

(6) Universidade Federal do Pará | ITEC - UFPA | marcos.queiroz@itec.ufpa.br

(7) Professor Doutor | ITEC – UFPA | samoreira@ufpa.br

(8) Professora Doutora | ITEC – UFPA | nivea@ufpa.br

ABSTRACT

The integration of sensors with the Internet of Things (IoT) and Building Information Modeling (BIM) has intensified in the management and operation of buildings. This study aimed to analyze the integration of IoT sensors and BIM in the construction industry through a Systematic Literature Review (SLR). A total of 135 articles were identified in the Scopus and ScienceDirect databases, resulting in the selection of 24 studies. The analyses revealed the convergence of sensors, BIM, and Digital Twins, with a predominance of environmental and structural sensors for monitoring and controlling building performance. The main barriers identified were the high implementation costs, the need for specialized knowledge, and interoperability challenges among software platforms. This study contributes to a better understanding of the implementation of sensors integrated with BIM and their application objectives.

Keywords: Internet of Things (IoT). Building Information Modeling (BIM). Sensors. Digital Twin. Monitoring.

1. INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil ainda apresenta desafios relacionados à execução de obras e gerenciamento da operação das edificações, devido à adoção de métodos tradicionais (Han; Golparvar-Fard, 2014). Como consequência, são observados problemas ao longo do ciclo de vida dos empreendimentos, tais como atrasos, sobrecustos, baixa produtividade, acidentes e processos decisórios pouco eficientes (Purushothaman; Pedro; GhaffarianHoseini, 2024).

A incorporação de tecnologias digitais tem se mostrado estratégica para elevar o desempenho do setor (Zhang *et al.*, 2022). Destacam-se os sensores associados à Internet das Coisas (Internet of Things - IoT), capturando dados de forma contínua (Alves; Palha; Almeida Filho, 2025), permitindo monitorar vibrações estruturais, temperatura do concreto, umidade, qualidade do ar e demais condições operacionais, contribuindo para sistemas de controle mais eficientes e responsivos (Trappey *et al.*, 2017).

A metodologia Building Information Modeling (BIM) é utilizada no gerenciamento de informações ao longo do ciclo de vida das edificações (Volk; Stengel; Schultmann, 2014). Sua aplicação se concentra nas etapas de projeto e planejamento, limitando-se, em geral, à representação estática do ativo construído (Sadeghi; Elliott; Mehany, 2022).

A integração entre BIM e sensores IoT amplia a capacidade analítica e operacional dos modelos digitais (Lu *et al.*, 2020) ao conectar dados captados em campo ao modelo virtual, viabilizando a criação de gêmeos digitais (Digital Twin - DT) (Machado *et al.*, 2023). Essa abordagem aprimora o controle de obras, a manutenção preditiva, a prevenção de falhas, a gestão de ativos e o suporte à tomada de decisões (Xie *et al.*, 2023).

Apesar dos avanços observados, ainda são limitados os estudos que sistematizam a integração entre essas tecnologias no setor da construção civil, bem como os tipos de dispositivos empregados e os níveis de integração (Yoon; Song; Li, 2025). Este artigo tem como objetivo sintetizar, por meio de uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL), a integração entre sensores IoT e BIM na construção civil.

2. MÉTODO

O estudo foi desenvolvido por meio de uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL), por ser um método que possibilita a identificação, seleção, avaliação e síntese das evidências científicas de forma estruturada, transparente e reprodutível (Brereton *et al.*, 2007). A condução da revisão foi baseada nos princípios do protocolo PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses). Utilizou-se como ferramenta o aplicativo StArt (State of the Art through Systematic Review) (StArt, [S.d.]).

O Quadro 1 apresenta o protocolo de investigação da RSL, o qual foi desenvolvido baseado nas pesquisas de Landim (Landim *et al.*, 2022) e Gough (Gough; Thomas; Oliver, 2012).

Quadro 1: Protocolo de investigação da RSL

ITEM	ADOTADO
Estrutura conceitual	Analisar a aplicação de sensores integrados ao BIM no setor da arquitetura, engenharia e construção.
Contexto	Indústria da Construção Civil.
Questão da Revisão	Q1: Quais tipos de sensores são utilizados em aplicações integradas ao BIM? Q2: Em quais áreas da construção civil os sensores integrados ao BIM são aplicados? Q3: Quais são as principais barreiras de aplicação?
Linguagem de Busca	("Building Information Modeling") AND ("sensor" OR "sensors") AND ("civil engineering" OR "construction")
Bases de pesquisa	Scopus; ScienceDirect.

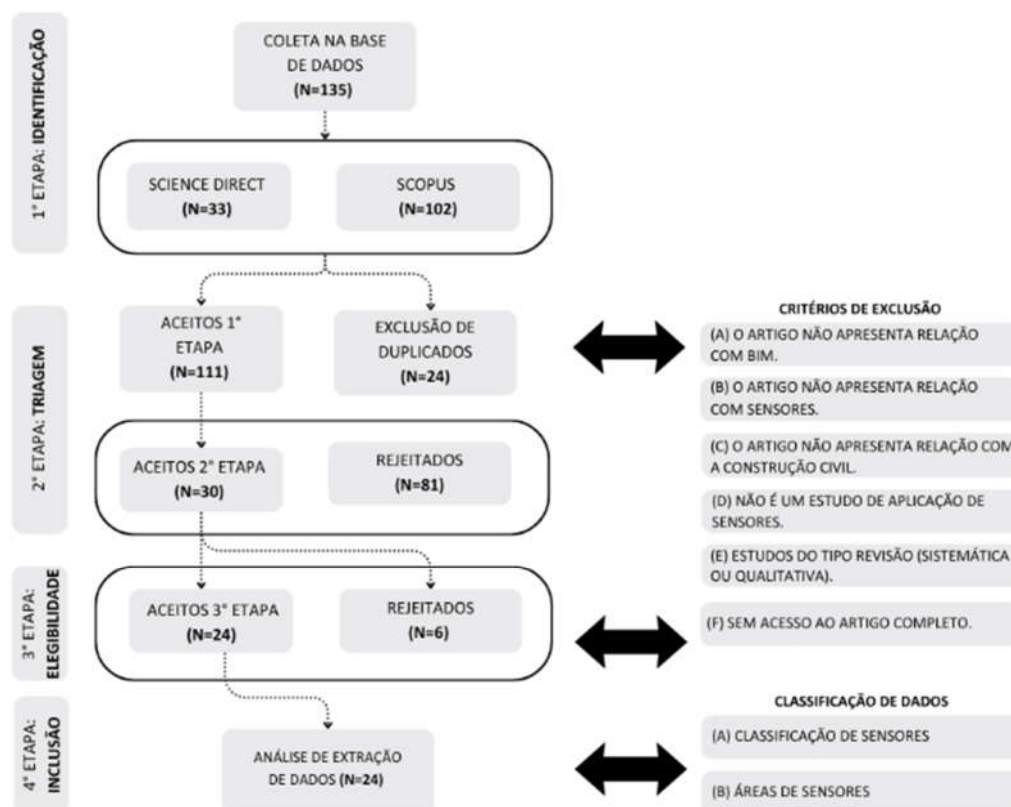
Fonte: autores

Os termos de busca, apresentados no Quadro 1, foram definidos com base em estudos que abordam o Building Information Modeling (BIM) associado a sensores aplicados à construção civil. Considerando o objetivo do estudo, não foi estabelecida delimitação prévia quanto ao tipo de sensor ou à área da engenharia civil.

A pesquisa foi desenvolvida em quatro fases: (1) Identificação: busca de artigos em base de dados; (2) Triagem: Remoção de Duplicados e de artigos não aderentes a temática da pesquisa; (3) Elegibilidade: leitura completa dos

artigos; e (4) Inclusão: Análise e classificação dos dados. O método é sintetizado na Figura 1.

Figura 1: Representação Esquemática do Processo de Revisão



Fonte: autores

Na etapa de Identificação, a busca nas bases Scopus e ScienceDirect restringiu-se aos campos de título, resumo e palavras – chave dos estudos, com condições de contorno descritas no Quadro 1 e as seguintes premissas: (a) artigos publicados nos anos de 2021 a 2026; (b) foram considerados apenas artigos científicos; (c) foram considerados apenas artigos dentro do escopo de engenharia; e (d) foram considerados apenas artigos científicos com disponibilidade de leitura na língua inglesa;

Na etapa de Triagem realizou-se a análise do título, resumo e palavras-chave, adotando-se os critérios de exclusão descritos a seguir: (a) O artigo não apresenta relação com BIM; (b) O artigo não apresenta relação com sensores; (c) O artigo não apresenta relação com a construção Civil; (d) Não é um estudo de aplicação de sensores; (e) Estudos do tipo revisão (sistemática ou qualitativa); e (f) Sem acesso ao artigo completo.

Na etapa de Elegibilidade, procedeu-se à leitura completa dos artigos selecionados, reaplicando os critérios de exclusão descritos anteriormente. Na etapa de Inclusão, procedeu-se à análise e à classificação dos objetos de estudo, considerando as áreas e os métodos de aplicação, as tecnologias utilizadas e as barreiras à implementação.

3. RESULTADOS

3.1. RESULTADOS BIBLIOMÉTRICOS

Na etapa de identificação, a busca inicial retornou 135 artigos, sendo 102 provenientes da base Scopus e 33 da ScienceDirect. Após a remoção de 24 duplicados, 111 estudos seguiram para análise. Na etapa de Triagem por título, resumo e palavras-chave, 81 foram excluídos por atenderem aos critérios de exclusão, sendo 12 revisões e 5 fora do contexto da construção civil. Na etapa de Elegibilidade, 6 artigos foram excluídos, sendo 1 por indisponibilidade do texto completo e 5 por não apresentarem aplicação. Ao final, 24 artigos foram selecionados.

Foram analisados os periódicos dos 24 artigos quanto ao Fator de Impacto (IF) e quartis (Q), identificando-se 18 revistas científicas. Destas, 22% pertencem à Construção Civil e Infraestrutura, 22% à Tecnologia Digital, 22% ao Ambiente Construído, 17% à Sustentabilidade, 11% a Sensoriamento e 6% à Gestão e Operação, com destaque para Automation in Construction, Buildings e Facilities.

O IF variou de 1,5 a 12, sendo que 33% dos artigos foram publicados nas revistas com índices maiores que 5, 21% em revistas com índices entre 3 e 5 e 46% em revistas com índices menores que 3. Verificou-se que 50% dos estudos foram publicados em revistas com quartis Q1, 21% em Q2 e 29% em Q3.

Os resultados indicam distribuição heterogênea das publicações, com predominância em periódicos de menor impacto ($IF < 3$) e presença em revistas Q1. Esses dados evidenciam diversidade de publicação, sem permitir, isoladamente, inferir a maturidade científica da área.

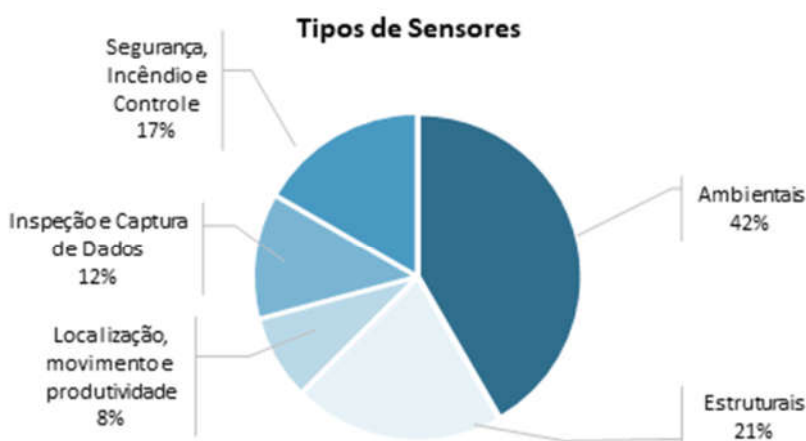
3.2. ANÁLISE DE CONTEÚDO

O BIM atuou predominantemente como plataforma centralizadora das informações captadas pelos sensores, possibilitando a integração, visualização espacial e rastreabilidade dos ativos por meio de ferramentas como Autodesk Tandem (Salzano *et al.*, 2025), Autodesk Fusion 360 (Borkowski; Brożyna;

Lesiuk, 2024) e Unity 3D (Alijani Mamaghani; Noorzai, 2023), as quais permitem a visualização espacial dos dados e rastreabilidade dos ativos por meio de linguagens de programação.

Destaca-se o uso de computação em nuvem para armazenamento e processamento dos dados (Edirisinghe; Woo, 2020; Pavón *et al.*, 2025), superando limitações locais diante do grande volume gerado por medições contínuas. Essa abordagem viabiliza gestão eficiente, análises históricas e suporte à tomada de decisão (Renard-Julián; Olmos; García-Cascales, 2025). No que se refere às ferramentas de modelagem, observa-se a predominância do uso do software Autodesk Revit (Einizinab *et al.*, 2026; Hou *et al.*, [S.d.]), devido à sua capacidade de integração com diferentes fluxos de trabalho e compatibilidade com aplicações de monitoramento e análise de dados (Chen *et al.*, 2026).

Figura 2: Classificação dos objetos de estudo quanto aos tipos de sensores.



Fonte: autores.

Figura 3: Classificação dos objetos de estudo quanto aos objetivos de aplicação



Fonte: autores.

Em concordância com os dados mostrados nas Figuras 2 e 3, verificou-se a concentração do uso de sensores de temperatura, umidade e qualidade do ar (Alijani Mamaghani; Noorzai, 2023; Chen *et al.*, 2026; Edirisinghe; Woo, 2020; Iqbal *et al.*, 2024; Kontaxis *et al.*, 2022; Opoku *et al.*, 2024; Pavón *et al.*, 2025; Salzano *et al.*, 2025; Valinejadshoubi *et al.*, 2021, 2025), especialmente em aplicações voltadas ao monitoramento de edificações, geração de alertas em tempo real e à eficiência energética. Esses sensores estão majoritariamente aplicados na fase de operação e manutenção, atuando como suporte à manutenção preditiva dos sistemas prediais. Os resultados indicam que a incorporação contínua desses dados contribui significativamente para a melhoria da detecção de falhas, permitindo intervenções mais rápidas, precisas e orientadas por dados (Desogus *et al.*, 2021).

Outro uso relativamente comum observado está presente no monitoramento estrutural (Aroquipa *et al.*, 2025; Einizinab *et al.*, 2026; Oyarhossein *et al.*, 2025; Wang *et al.*, 2025)[22], por meio do uso de acelerômetros, sensores de deformação e sensores ultrassônicos, empregados na detecção de vibrações, deslocamentos e possíveis falhas estruturais. Assim como os sensores ambientais, esses dispositivos são predominantemente empregados na fase de operação e manutenção, contribuindo para a avaliação contínua da integridade estrutural das edificações. Sua aplicação é particularmente relevante em estruturas existentes, especialmente em edificações mais antigas, nas quais o monitoramento contínuo permite a identificação precoce de patologias e o suporte à tomada de decisão quanto a intervenções (Panah; Kioumars, 2021).

Em canteiros de obras, destacam-se sensores para segurança, rastreamento de equipamentos e trabalhadores, além da análise de movimentação e ergonomia (Borkowski; Brożyna; Lesiuk, 2024; Bórquez *et al.*, 2025; Cui *et al.*, 2024; Khazen; Nik-Bakht; Moselhi, 2024; Xu; Ran; Rao, 2022; Zhou *et al.*, 2022). Essas soluções contribuíram para o gerenciamento das atividades em campo, possibilitando o monitoramento em tempo real das condições do canteiro, a redução de riscos operacionais e o aumento da eficiência das operações (Opoku *et al.*, 2024).

Também foram identificados sensores voltados à segurança, incêndio e controle (Borkowski; Brożyna; Lesiuk, 2024; Cui *et al.*, 2024; Xu; Ran; Rao, 2022; Zhou *et al.*, 2022), atuando na prevenção de riscos e na automação de sistemas, com impacto na eficiência operacional. A integração desses sensores ao modelo BIM permite a identificação de situações críticas, o acionamento automatizado de sistemas de segurança e o suporte à tomada de decisão durante a operação da edificação (Cui *et al.*, 2024).

Adicionalmente, sensores de inspeção e captura de dados são utilizados para coletar informações operacionais que subsidiam análises e a tomada de decisão (Bórquez *et al.*, 2025; Renard-Julián; Olmos; García-Cascales, 2025; Yin; Lin; Yeoh, 2023; Zhou *et al.*, 2022). Somados ao BIM, esses dispositivos possibilitam a atualização contínua das informações do modelo digital, fornecendo dados para a gestão dos ativos (Edirisinghe; Woo, 2020).

As principais barreiras identificadas estão associadas ao grande número de etapas para integração e processamento de dados (Chen *et al.*, 2026; Hou *et al.*, [S.d.]; Pavón *et al.*, 2025), reforçando a necessidade de melhor conexão entre os sistemas (Liu; Hong; Jiang, 2023). Observa-se baixa padronização e interoperabilidade entre plataformas, dificuldades de sincronização e dependência de infraestrutura adicional, como gateways e dispositivos específicos (Edirisinghe; Woo, 2020; Khazen; Nik-Bakht; Moselhi, 2024; Kontaxis *et al.*, 2022), afetando a escalabilidade e a confiabilidade das soluções (Desogus *et al.*, 2021). Os custos elevados de implementação estão ligados à aquisição de sensores e infraestrutura computacional, o que restringe a adoção a equipes especializadas em conhecimentos de programação (Borkowski; Brożyna; Lesiuk, 2024; Kontaxis *et al.*, 2022; Salzano *et al.*, 2025).

4. CONCLUSÃO

Os resultados evidenciam a predominância da utilização de sensores ambientais e estruturais na fase de operação e manutenção para o monitoramento das condições da edificação, sejam para o monitoramento das condições do ambiente quanto a identificação precoce de patologias.

Observou-se também que as principais barreiras para a adoção em larga escala da integração entre sensores e BIM estão relacionadas aos elevados custos de implementação, à limitada interoperabilidade entre plataformas e softwares, que exige múltiplas integrações para viabilizar a comunicação entre sensores e modelos BIM destinados à criação de Gêmeos Digitais, e à necessidade de conhecimentos especializados em eletrônica, programação e processamento de dados, conhecimentos que fogem do escopo tradicional da engenharia civil.

O estudo contribuiu para melhor compreensão sobre a integração entre sensores IoT e BIM, mapeando os principais sensores utilizados, suas aplicações e as barreiras que limitam sua implementação. Esses resultados fornecem uma visão consolidada das tecnologias empregadas e dos desafios associados à sua adoção, colaborando para desenvolvimento de soluções de monitoramento mais eficientes na construção civil.

Como propostas para trabalhos futuros, destacam-se a realização de estudos voltados à análise dos custos para implementação de sensores integrados ao BIM, a aplicação prática de diferentes tipos de sensores para a avaliação de seu impacto na gestão de edificações e desenvolvimento de pesquisas destinadas ao aprimoramento da interoperabilidade entre softwares BIM e sistemas de sensoriamento, visando uma integração mais eficiente.

REFERÊNCIAS

ALIJANI MAMAGHANI, Omid; NOORZAI, Esmatullah. A framework to implement augmented reality based on BIM to improve operation and maintenance of mechanical facilities of commercial complexes. **Facilities**, [S.l.], v. 41, n. 3–4, p. 229–247, 10 jan. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1108/F-04-2022-0064>.

ALVES, Josivan Leite; PALHA, Rachel Perez; ALMEIDA FILHO, Adiel Teixeira de. Towards an integrative framework for BIM and artificial intelligence capabilities in smart architecture, engineering, construction, and operations projects. **Automation in Construction**, [S.l.], v. 174, p. 106168, 1 jun. 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2025.106168>.

AROQUIPA, Hector; HURTADO, Alvaro; MURGA, Christian; DE LA CRUZ, Ronal; TARQUE, Nicola. Towards smart Cities: Foundational methodology for implementing intelligent circular resilience in heritage buildings through structural health monitoring and digital-twins – Part A. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, [S.l.], v. 128, p. 105749, 1 out. 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2025.105749>.

BORKOWSKI, Andrzej Szymon; BROŻYNA, Jakub; LESIUK, Julia. Implementation of the Telemetric Integration of the BIM-RFID in Context of Access Control. **Buildings**, [S.l.], v. 14, n. 11, p. 3356, nov. 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/buildings14113356>.

BÓRQUEZ, Alexis Toledo; LA RIVERA, Felipe Muñoz; HERRERA, Rodrigo F.; SERRANO, Javier Mora. Augmented reality and ultrasonic sensor-based tool for rebar inspection on construction sites. **Automation in Construction**, [S.l.], v. 176, p. 106288, 1 ago. 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2025.106288>.

BRERETON, Pearl; KITCHENHAM, Barbara A.; BUDGEN, David; TURNER, Mark; KHALIL, Mohamed. Lessons from applying the systematic literature review process within the software engineering domain. **Journal of Systems and Software**, [S.l.], v. 80, n. 4, p. 571–583, 1 abr. 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jss.2006.07.009>.

CHEN, Yulong; YING, Chunli; ZHU, Hao; CHEN, Jun; HAN, Daguang. Norm-Driven Generative BIM Design: Semantic Parsing and Automated Layout for Small-Scale Power Infrastructure. **Applied Sciences**, [S.l.], v. 16, n. 8, p. 3804, jan. 2026. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/app16083804>.

CUI, Benben; WANG, Chen; WU, Meng; ZHU, Can; WANG, Defa; LI, Bin. Integrating Bluetooth-Enabled Sensors with Cloud Computing for Fire Hazard Communication Systems. **ASCE-ASME Journal of Risk and Uncertainty in Engineering Systems, Part A: Civil Engineering**, [S.l.], v. 10, n. 3, p. 04024035, 1 set. 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1061/AJRUA6.RUENG-1275>.

DESOGUS, Giuseppe; QUAQUERO, Emanuela; RUBIU, Giulia; GATTO, Gianluca; PERRA, Cristian. BIM and IoT Sensors Integration: A Framework for Consumption and Indoor Conditions Data Monitoring of Existing Buildings. **Sustainability**, [S.l.], v. 13, n. 8, p. 4496, jan. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su13084496>.

EDIRISINGHE, Ruwini; WOO, Jin. BIM-based performance monitoring for smart building management. **Facilities**, [S.l.], v. 39, n. 12, p. 19–35, 2 out. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1108/F-11-2019-0120>.

EINIZINAB, Sajjad; KHOSHELHAM, Kourosh; WINTER, Stephan; CHRISTOPHER, Philip. Automated Geometric Inspection of Building Pipes Using RGB-D Images Captured by a Mixed Reality Device. **Journal of Computing in Civil Engineering**, [S.l.], v. 40, n. 1, p. 04025127, 1 jan. 2026. Disponível em: <https://doi.org/10.1061/JCCEE5.CPENG-6894>.

GOUGH, David; THOMAS, James; OLIVER, Sandy. Clarifying differences between review designs and methods. **Systematic Reviews**, [S.l.], v. 1, n. 1, p. 28, 9 jun. 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/2046-4053-1-28>.

HAN, Kevin K.; GOLPARVAR-FARD, Mani. Automated Monitoring of Operation-level Construction Progress Using 4D BIM and Daily Site Photologs. [S.l.], p. 1033–1042, 13 maio 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1061/9780784413517.106>.

HOU, Gobgyu; LI, Le; XU, Zhedong; CHEN, Qinhuang; LIU, Yijun; QIU, Bing. A BIM-Based Visual Warning Management System for Structural Health Monitoring Integrated with LSTM Network - ScienceDirect. [S.l.], [S.d.]. Disponível em: <https://www.sciencedirect-com.ez3.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S122679882401599X?via%3Dihub>. Acesso em: 10 abr. 2026.

IQBAL, Fahad; AHMED, Shiraz; TARIQ, Muhammad Abu Bakar; WAQAS, Hafiz Ahmed; AL-AMMAR, Essam A.; WABAIDUR, Saikh Mohammad; FAWAD, Muhammad. BIM-IoT integration for remote real-time concrete compressive strength monitoring. **Ain Shams Engineering Journal**, [S.l.], v. 15, n. 7, p. 102863, 1 jul. 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.asej.2024.102863>.

KHAZEN, Mohammadali; NIK-BAKHT, Mazdak; MOSELHI, Osama. Monitoring workers on indoor construction sites using data fusion of real-time worker's location, body orientation, and productivity state. **Automation in Construction**, [S.l.], v. 160, p. 105327, 1 abr. 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2024.105327>.

KONTAXIS, Dimitrios; TSOULOS, George; ATHANASIADOU, Georgia; GIANNAKIS, Giorgos. Wireless Sensor Networks for Building Information Modeling. **Telecom**, [S.l.], v. 3, n. 1, p. 118–134, mar. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/telecom3010007>.

LANDIM, Gabriela Linhares; JÚNIOR, Francisco Alverne Albuquerque Paiva; NETO, José de Paula Barros; LIMA, Mariana Monteiro Xavier. Implementação conjunta de Lean Construction e BIM – Revisão Sistemática de Literatura. **ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO**, [S.l.], v. 19, p. 1–16, 7 nov. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.46421/entac.v19i1.2030>.

LIU, Yuzhao; HONG, Shaojun; JIANG, Fan. Application of BIM+IoT technology in the design and operation and maintenance stages of smart buildings. **Journal of Computational Methods in Sciences and Engineering**, [S.l.], v. 23, n. 6, p. 3255–3270, 1 nov. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3233/JCM-226910>.

LU, Qiuchen; XIE, Xiang; PARLIKAD, Ajith Kumar; SCHOOLING, Jennifer Mary. Digital twin-enabled anomaly detection for built asset monitoring in operation and maintenance. **Automation in Construction**, [S.l.], v. 118, p. 103277, 1 out. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103277>.

MACHADO, Diogo Ortiz; CHICAIZA, William D.; ESCAÑO, Juan M.; GALLEGOS, Antonio J.; DE ANDRADE, Gustavo A.; NORMEY-RICO, Julio E.; BORDONS, Carlos; CAMACHO, Eduardo F. Digital twin of an absorption chiller for solar cooling. **Renewable Energy**, [S.l.], v. 208, p. 36–51, 1 maio 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.03.048>.

OPOKU, De-Graft Joe; PERERA, Srinath; OSEI-KYEI, Robert; RASHIDI, Maria; BAMDAD, Keivan; FAMAKINWA, Tosin. Digital twin for indoor condition monitoring in living labs: University library case study. **Automation in Construction**, [S.l.], v. 157, p. 105188, 1 jan. 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.105188>.

OYARHOSSEIN, Mohammad Amin; SUGIYAMA, Gabriel; RODRIGUES, Fernanda; RODRIGUES, Hugo. Finite Element Model Updating of a Steel Cantilever Beam: Experimental Validation and Digital Twin Integration. **Buildings**, [S.l.], v. 15, n. 21, p. 3890, jan. 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/buildings15213890>.

PANAH, Reihane Shafie; KIOUMARSI, Mahdi. Application of Building Information Modelling (BIM) in the Health Monitoring and Maintenance Process: A Systematic Review. **Sensors**, [S.l.], v. 21, n. 3, p. 837, jan. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/s21030837>.

PAVÓN, Rubén Muñoz; ALBERTI, Marcos García; ÁLVAREZ, Antonio Alfonso Arcos; CEPA, Jorge Jerez. Bim-based Digital Twin development for university Campus management. Case study ETSICCP. **Expert Systems with Applications**, [S.l.], v. 262, p. 125696, 1 mar. 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2024.125696>.

PURUSHOTHAMAN, Mahesh; PEDRO, Leo; GHAFARIANHOSEINI, Ali. Construction projects: interactions of the causes of delays. **Smart and Sustainable Built Environment**, [S.l.], v. 15, n. 2, p. 439–471, 3 dez. 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1108/SASBE-11-2023-0334>.

RENARD-JULIÁN, Eduardo J.; OLMOS, José M.; GARCÍA-CASCALES, M. Socorro. A BIM-Oriented Framework for Integrating IoT-Based Air Quality Monitoring Systems Using the AIBIMclass Classification. **Applied Sciences**, [S.l.], v. 15, n. 19, p. 10409, jan. 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/app151910409>.

SADEGHI, Marjan; ELLIOTT, Jonathan Weston; MEHANY, Mohammed Hashem. Information-augmented exchange objects to inform facilities management BIM guidelines: introducing the level of semantics schema. **Journal of Facilities Management**, [S.l.], v. 21, n. 2, p. 260–281, 27 jan. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1108/JFM-04-2021-0044>.

SALZANO, Antonio; CASONE, Stefano; ZITIELLO, Enrico P.; NICOLELLA, Maurizio. HVAC System Performance in Educational Facilities: A Case Study on the Integration of Digital Twin Technology and IoT Sensors for Predictive Maintenance. **Journal of**

Architectural Engineering, [S./], v. 31, n. 1, p. 04025004, 1 mar. 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1061/JAEIED.AEENG-1855>.

START. **Laboratório de Pesquisa em Engenharia de Software**. [S.d.]. Disponível em: <https://www.lapes.ufscar.br/resources/tools-1/start-1>. Acesso em: 4 maio 2026.

TRAPPEY, Amy J. C.; TRAPPEY, Charles V.; HAREESH GOVINDARAJAN, Usharani; CHUANG, Allen C.; SUN, John J. A review of essential standards and patent landscapes for the Internet of Things: A key enabler for Industry 4.0. **Advanced Engineering Informatics**, [S./], v. 33, p. 208–229, 1 ago. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.aei.2016.11.007>.

VALINEJADSHOUBI, Mojtaba; MOSELHI, Osama; BAGCHI, Ashutosh; SALEM, Ashraf. Development of an IoT and BIM-based automated alert system for thermal comfort monitoring in buildings. **Sustainable Cities and Society**, [S./], v. 66, p. 102602, 1 mar. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102602>.

VALINEJADSHOUBI, Mojtaba; SACKS, Rafael; VALDIVIESO, Fernando; CORNEAU-GAUVIN, Charles; KAPTUÉ, Arnel. Digital Twin Construction in Practice: A Case Study of Closed-Loop Production Control Integrating BIM, GIS, and IoT Sensors. **Journal of Construction Engineering and Management**, [S./], v. 151, n. 11, p. 05025014, 1 nov. 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1061/JCEMD4.COENG-16588>.

VOLK, Rebekka; STENGEL, Julian; SCHULTMANN, Frank. Building Information Modeling (BIM) for existing buildings — Literature review and future needs. **Automation in Construction**, [S./], v. 38, p. 109–127, 1 mar. 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2013.10.023>.

WANG, Qianqian; LI, Jinjing; YAO, Hui; LI, Zhihao; JIA, Xingli. Research on IFC-Based Tunnel Monitoring Information Integration and Visual Warning Scheme. **Buildings**, [S./], v. 15, n. 13, p. 2221, jan. 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/buildings15132221>.

XIE, Xiang; MERINO, Jorge; MORETTI, Nicola; PAUWELS, Pieter; CHANG, Janet Yoon; PARLIKAD, Ajith. Digital twin enabled fault detection and diagnosis process for building HVAC systems. **Automation in Construction**, [S./], v. 146, p. 104695, 1 fev. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104695>.

XU, Zhao; RAN, Yinsai; RAO, Zezhi. Design and integration of air pollutants monitoring system for emergency management in construction site based on BIM and edge computing. **Building and Environment**, [S./], v. 211, p. 108725, 1 mar. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108725>.

YIN, Huan; LIN, Zhiyi; YEOH, Justin K. W. Semantic localization on BIM-generated maps using a 3D LiDAR sensor. **Automation in Construction**, [S./], v. 146, p. 104641, 1 fev. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104641>.

YOON, Sungmin; SONG, Jihwan; LI, Jiteng. Ontology-enabled AI agent-driven intelligent digital twins for building operations and maintenance. **Journal of Building Engineering**, [S./], v. 108, p. 112802, 15 ago. 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.job.2025.112802>.

ZHANG, Jiaying; KWOK, Helen H. L.; LUO, Han; TONG, Jimmy C. K.; CHENG, Jack C. P. Automatic relative humidity optimization in underground heritage sites through ventilation system based on digital twins. **Building and Environment**, [S.l.], v. 216, p. 108999, 15 maio 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.108999>.

ZHOU, Xiaoping; LI, Haoran; WANG, Jia; ZHAO, Jichao; XIE, Qingsheng; LI, Lei; LIU, Jiayin; YU, Jun. CloudFAS: Cloud-based building fire alarm system using Building Information Modelling. **Journal of Building Engineering**, [S.l.], v. 53, p. 104571, 1 ago. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.job.2022.104571>.