XXI ENTAC – Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
14 a 16 de outubro de 2026 | Goiânia-Brasil
DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8332

Integração entre BIM e técnicas de machine learning para gestão de tempo e risco na construção: uma revisão sistemática

Integrating BIM and Machine Learning techniques for time and risk management in construction: a systematic review

Viviane Viana Sofiste
Instituto Militar de Engenharia | Rio de Janeiro | Brasil | vsofiste@ime.eb.br
Paulo Cesar Pellanda
Instituto Militar de Engenharia | Rio de Janeiro | Brasil | pellanda@ime.eb.br
Giuseppe Miceli Junior
Instituto Militar de Engenharia | Rio de Janeiro | Brasil | giuseppe.pged@ime.eb.br
Julio Cesar Duarte
Instituto Militar de Engenharia | Rio de Janeiro | Brasil | duarte@ime.eb.br

Resumo

Este estudo analisa, por revisão sistemática, como a integração entre *Building Information Modeling* (BIM) e *Machine Learning* (ML) pode aprimorar a gestão de tempo e riscos em projetos de construção. Aplicou-se o protocolo PRISMA nas bases Scopus e Periódicos CAPES, partindo de 677 registros e resultando em 54 artigos alinhados a BIM, ML, cronograma/tempo e riscos. Os achados mostram predominância de modelos supervisionados e não supervisionados, Deep Learning (DL), Processamento de Linguagem Natural (PLN), algoritmos de otimização e abordagens híbridas aplicadas à automação de cronogramas, previsão de prazos, monitoramento de progresso e avaliação de riscos. Identificam-se benefícios em precisão, automação e suporte à decisão, mas também entraves de interoperabilidade, qualidade de dados e capacitação, além da escassez de validações empíricas em contextos reais. Conclui-se que o BIM atua como núcleo integrador de um ecossistema *data-driven* (IA, ML e tecnologias digitais emergentes) para reduzir incertezas ao longo do ciclo de vida dos projetos.

Palavras-chave: Building Information Modeling. Machine Learning. Gestão de tempo.

Abstract

This study analyzes, via a systematic review, how the integration of BIM and ML can improve time and risk management in construction projects. The PRISMA protocol was applied to searches in Scopus and CAPES Journals, starting from 677 records and yielding 54 articles aligned with BIM, ML, schedule/time management, and risk management. Findings show a predominance of supervised and unsupervised models, Deep Learning, Natural Language Processing (NLP), optimization algorithms, and hybrid approaches applied to schedule automation, deadline prediction, progress monitoring, and risk assessment. Identified benefits include improved accuracy, automation, and decision support, but challenges persist—interoperability, data quality, and training—alongside a lack of empirical validation in real-world contexts. We conclude that BIM functions as an integrating core within a data-driven ecosystem (AI, ML, and emerging digital technologies) to reduce uncertainty across the project lifecycle.

Keywords: Building Information Modeling. Machine Learning. Time management.

Como citar:
SOFISTE V. V.et al. Integração entre BIM e técnicas de machine learning para gestão de tempo e risco na construção: uma revisão sistemática. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 21, 2026, Goiânia. **Anais**... Goiânia: ANTAC, 2026.

DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8332

INTRODUÇÃO

A indústria da construção, mesmo após décadas de avanços tecnológicos, ainda enfrenta desafios persistentes na gestão de cronogramas e na mitigação de riscos [13]. Esses problemas afetam desempenho, custos e segurança: atrasos geram penalidades e impactos financeiros, e falhas na gestão de riscos comprometem segurança e continuidade das obras. Assim, práticas consistentes de planejamento e controle permanecem essenciais ao longo do ciclo de vida do projeto [11].

Diante desse cenário, cresce o interesse por abordagens integradas. O trabalho de [14], por exemplo, destaca a importância de compreender as relações entre fatores de risco e estratégias de gestão no contexto do BIM, propondo uma visão mais holística. Ao mesmo tempo, os autores chamam a atenção para o papel das tecnologias emergentes, como a Inteligência Artificial (IA), que vêm ampliando as possibilidades de automação e suporte à tomada de decisão. Esse movimento tem impulsionado investigações que combinam BIM com técnicas de ML, abrindo novas perspectivas para a gestão de projetos.

Nessa linha, a integração entre BIM, IA e ML tem demonstrado potencial para tornar processos mais previsíveis e proativos: melhora estimativas, antecipa riscos e otimiza alocação de recursos [11, 55] . Estudos como o de [51] evidenciam que a associação entre modelos BIM e métodos de otimização pode reduzir erros e melhorar significativamente o sequenciamento das atividades. De forma complementar, [7] apontam que o uso de técnicas avançadas de monitoramento amplia a visibilidade sobre o progresso dos projetos, favorecendo respostas mais ágeis a desvios e atrasos.

Além disso, novas abordagens têm explorado o uso de PLN combinado com ML para analisar relações implícitas entre atividades, permitindo ajustes dinâmicos nos cronogramas [5]. Ainda assim, a adoção dessas tecnologias não ocorre sem desafios. Barreiras como limitações técnicas, necessidade de capacitação e resistência à mudança continuam dificultando sua implementação em larga escala [37, 55, 43].

Esse contexto torna-se mais crítico à medida que os projetos de construção se tornam mais complexos, com prazos mais restritos e maior pressão por eficiência. Trabalhos indicam que a integração entre BIM e ML pode melhorar significativamente a visualização e a gestão de riscos, além de otimizar o desempenho por meio de técnicas como algoritmos genéticos e simulação [37, 57]. No entanto, persistem lacunas importantes, especialmente no que se refere ao monitoramento e controle de buffers e à consolidação dessas tecnologias em práticas consolidadas de gestão [7, 4].

Diante disso, este estudo investiga como a integração entre BIM, IA e ML pode contribuir para o aprimoramento da gestão de tempo e riscos em projetos de construção, por meio de uma revisão sistemática da literatura. A pesquisa tem como objetivo identificar contribuições relevantes, evidenciar lacunas e apontar direções para estudos futuros. Para isso, a questão de pesquisa foi desdobrada, com base no modelo PICOS, nas seguintes questões:

- RQ1: Quais técnicas de ML têm sido aplicadas em conjunto com BIM para a gestão de tempo e riscos em projetos de construção?

- RQ2: Quais benefícios são reportados na literatura em termos de redução de riscos, atrasos, custos e melhoria da eficiência da gestão?
- RQ3: Quais desafios e limitações estão associados à integração entre BIM e ML?
- RQ4: Quais lacunas de pesquisa e oportunidades futuras são identificadas na literatura?

METODOLOGIA

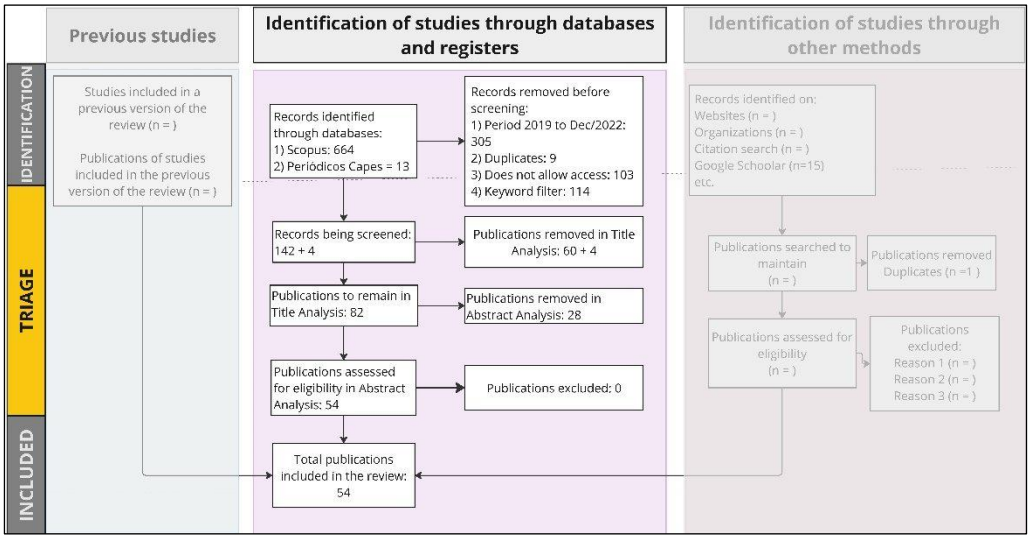
Este estudo realiza uma revisão sistemática da literatura, seguindo o protocolo PRISMA[1], para analisar de forma rigorosa como a integração entre BIM e ML tem sido aplicada na gestão de riscos e cronogramas na construção, bem como seus padrões de adoção e principais resultados.

A busca foi realizada nas bases Scopus[2] e periódicos CAPES[3], com a *string* de busca:

("building information modeling" OR "BIM models") AND ("machine learning") AND ("schedule management" OR "time management" OR "PERT" OR "CPM" OR "risk management")

A Figura 1 apresenta os filtros aplicados nos resultados para selecionar os artigos.

Figura 1: Fluxograma PRISMA adaptado da seleção de estudos (Scopus e CAPES).



Fonte: os autores.

O diagrama PRISMA foi adaptado à estratégia adotada nesta revisão, considerando apenas os estudos identificados nas bases Scopus e Periódicos CAPES. Os critérios de inclusão adotados nesta revisão são apresentados a seguir.

[1] Disponível em https://www.prisma-statement.org/
[2] Disponível em https://www.scopus.com/
[3] Disponível em https://www.periodicos.capes.gov.br/

FILTROS APLICADOS

Foram inicialmente identificados 677 registros (Scopus: 664; Periódicos CAPES: 13). Aplicou-se o filtro temporal 2023–2024, excluindo 305 estudos publicados até 2022 e mantendo 372 registros atuais. Esse recorte foi adotado para concentrar a análise em publicações mais recentes, considerando a rápida evolução das tecnologias de IA. Além disso, optou-se por não incluir estudos de 2025, uma vez que, no momento da coleta, essas publicações ainda se encontravam em fase de indexação nas bases consultadas. Assim, priorizou-se o intervalo mais recente integralmente disponível e metodologicamente mais estável, assegurando maior consistência, comparabilidade e reprodutibilidade à revisão.

Posteriormente, removeram-se 9 duplicatas entre as bases (n = 363).

Avaliou-se o acesso aos textos e 103 artigos foram classificados como *non-open* e foram excluídos da sequência da revisão por indisponibilidade do texto completo. Assim, 260 artigos de acesso aberto avançaram para a triagem por título e resumo. A distribuição dos 363 artigos por categoria de acesso encontra-se na Tabela 1.

Tabela 1: Classificação dos 363 artigos por tipo de acesso

Tipo	Subtipos	Quantidade
Open	*All Open; Gold Open*	125
	All Open; Gold Open; Green Open	17
	All Open; Green Open	17
	All Open; Green Open; Hybrid Gold Open	3
	All Open; Hybrid Gold Open	28
	Verificados Manualmente	70
	Total	**260**
Non-Open	*All Open; Bronze Open*	9
	Verificados Manualmente	94
	Total	**103**

Fonte: os autores.

Os 363 registros foram filtrados por palavras-chave alinhadas à *string* de busca previamente definida, orientada pelos eixos centrais da revisão (BIM, ML, cronograma e riscos). Termos semanticamente equivalentes foram padronizados e agrupados; a lista completa está disponível no Zenodo. Assim, permaneceram 146 artigos.

Procedeu-se à triagem por título, classificando-se cada artigo em quatro níveis de relevância: altamente relevante (13), relevante (22), pouco relevante (47) e não relevante (64). Somente os estudos classificados como altamente/relevante/pouco relevantes (n = 82) avançaram para leitura e análise dos resumos.

Por fim, procedeu-se à análise dos resumos quanto à aderência à *string* de busca. Para cada resumo, atribuiu-se 1 ponto por eixo contemplado (0 = não contemplado). Quando o resumo cobria >2 eixos, a cobertura foi considerada alta; quando cobria <2, foi classificada como baixa. Para os casos em que o resumo contemplava exatamente 2 eixos, aplicou-se um critério qualitativo suplementar: cada eixo recebeu uma nota de 1 (baixa) a 3 (alta) conforme sua centralidade no texto, e a média ponderada dessas

notas definiu a aderência final (intervalos: baixa 1,00–1,66; moderada 1,66–2,33; alta 2,33–3,00). O detalhamento dos critérios de aderência aplicados à análise dos resumos está disponível no material suplementar (Zenodo).

Ao término dessa etapa, 28 artigos foram classificados com baixa aderência e excluídos, restando 54 estudos para leitura integral e composição da revisão. A Tabela 2 resume os critérios de inclusão e exclusão aplicados.

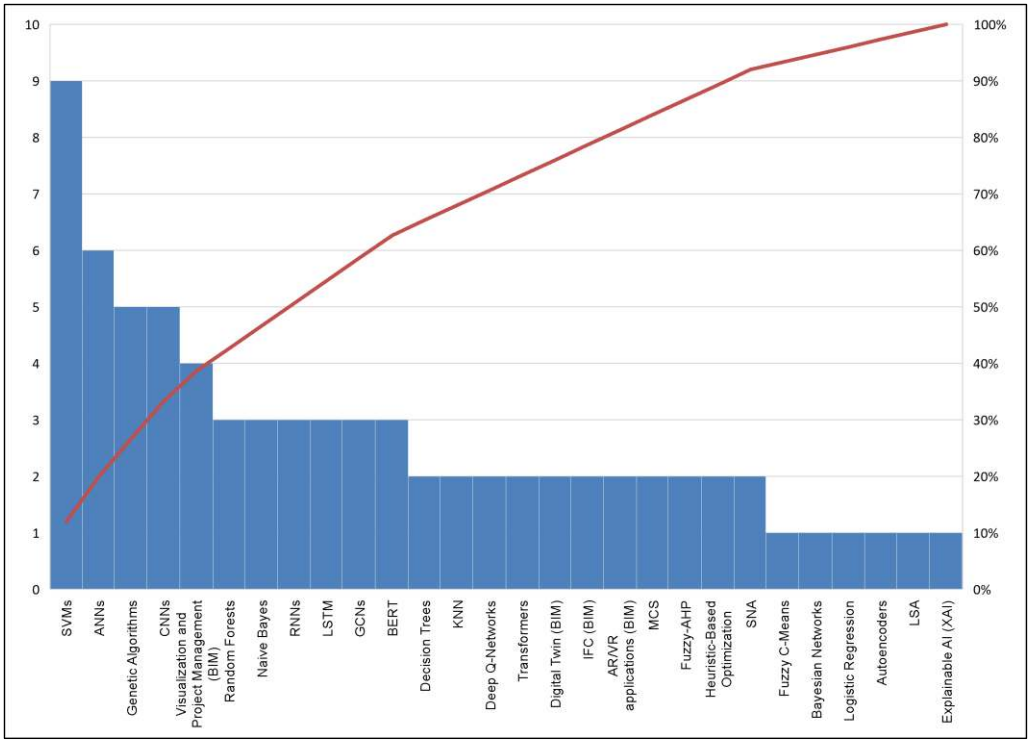
Tabela 2: Critérios de inclusão/exclusão

Tipo	Sub-tipos
Inclusão	Aborda integração BIM + ML (título/palavras-chave e/ou resumo). Trata gestão de cronograma/tempo e/ou gestão de riscos em projetos. Publicado no período 2023–2024. Texto completo disponível (acesso aberto).
Exclusão	Não aborda pelo menos um dos eixos centrais. Publicado fora do recorte temporal definido. Artigos de acesso non-open. Duplicatas detectadas entre bases.

Fonte: os autores.

A tabela com os 54 artigos incluídos na revisão está disponível no material suplementar (Zenodo). Com base neste conjunto de dados, foi gerado o gráfico de colunas apresentado na Figura 2, que apresenta a frequência de uso das tecnologias; a estrutura hierárquica de classificação temática encontra-se igualmente no material suplementar (Zenodo).

Figura 2: Análise de Frequência das Principais Tecnologias Aplicadas em Projetos de Construção de acordo com os artigos revisados



Fonte: os autores.

A Figura 2 evidencia que a literatura analisada se organiza em torno de três grupos principais de tecnologias. O primeiro, e mais frequente, reúne algoritmos de ML e DL,

com destaque para SVMs [43], ANNs [7], CNNs [51], Genetic Algorithms [51], além de *Random Forests*, *Naive Bayes*, RNNs, LSTMs, GCNs e BERT. O segundo grupo corresponde a métodos complementares de modelagem, simulação e apoio à decisão, como *Monte Carlo Simulation* (MCS), *Fuzzy*-AHP, *heuristic-based optimization* e SNA, todos com menor frequência, mas ainda presentes no conjunto analisado. O terceiro grupo reúne tecnologias associadas ao ecossistema BIM, como *Digital Twin*, IFC, aplicações em AR/VR e usos voltados à visualização e ao gerenciamento de projetos, mostrando que o BIM aparece não apenas como ferramenta de modelagem, mas como base integradora para diferentes aplicações digitais. Os dados revelam uma literatura que combina técnicas clássicas de ML, DL e tecnologias digitais na construção civil.

REVISÃO DOS ESTUDOS SELECIONADOS

A integração de IA, ML e BIM tem impulsionado o planejamento e o controle de prazos, mitigando fatores críticos de atraso, melhorando o planejamento e aperfeiçoando a comunicação entre atores [31,35]. Há avanço na automação de cronogramas por meio de abordagens *data-driven* em ambientes habilitados por BIM, bem como no uso de frameworks que geram cronogramas a partir de dados BIM e de técnicas de ML, possibilitando sequenciamento automático de atividades e estimativas integradas de duração, custo e recursos [3]. Aprendizado por reforço e algoritmos de otimização têm sido testados para aprimorar o sequenciamento, com ganhos em qualidade de solução e eficiência computacional [58,41]. A combinação de BIM com metodologias de projeto e fabricação, ao incorporar restrições de manufatura, reduz tempos de planejamento e montagem [8]. Todavia, a adoção em cenários complexos ainda enfrenta barreiras técnicas, organizacionais, de padronização e financeiras significativas [19].

Revisões recentes sobre IA aplicada à construção apontam avanços, mas também lacunas: há demanda por modelos de mineração de texto e NLP mais robustos e por maior rigor metodológico na área [57,34]. Na segurança, atividades concorrentes receberam pouca atenção em estudos anteriores, tendo sido proposto um modelo BIM para avaliar e visualizar o perigo de atividades sobrepostas [37].

Com foco em BIM, estudos mapeiam temas em gestão de projetos e assinalam lacunas na integração com outras tecnologias digitais e na manutenção da estabilidade da informação [55]. Modelos dinâmicos de risco baseados em ML estimulam uma gestão mais proativa, permitindo predições por zonas de trabalho e ações preventivas antecipadas [18]. Em cenários de incerteza profunda, a combinação de simulação de eventos discretos com ML permite gerar intervalos de predição e comparar alternativas de planejamento antes da execução, fortalecendo a capacidade de decisão em situações complexas [38,47].

No cotidiano dos cronogramas, muitas práticas ainda são manuais, gerando esforço elevado e falhas. A integração de NLP e BIM tem potencial para automatizar extração e interpretação de dados de documentos e modelos, reduzindo trabalho repetitivo [43]; modelos de linguagem têm sido avaliados para gerar cronogramas em projetos

simples, mostrando coerência na saída, mas exigindo aprimoramentos [36]. Em ambientes 5D BIM, algoritmos genéticos e outras técnicas de otimização têm reduzido tempo de projeto e gerado economias de custo [4].

A perspectiva da sustentabilidade associa o BIM ao design sustentável e à redução de resíduos, embora impactos de custo não estejam completamente definidos [30,15]. Na execução, arquiteturas baseadas em aprendizado autossupervisionado para nuvens de pontos 3D vêm ampliando a cobertura do monitoramento e a precisão do acompanhamento em obra [39].

No campo do risco, surgem métodos que combinam BIM e *text mining* na estimativa de custos [59,29] e modelos híbridos (redes neurais + algoritmos de busca) que alcançam acurácia elevada em previsões [53]. Representações em grafos têm sido usadas para automatizar cronogramas a partir de conhecimento tácito, aproximando planejamento e execução [20]. Mais amplamente, sistemas inteligentes de apoio à decisão baseados em IA/ML emergem como instrumentos para otimizar alocação de recursos, processos decisórios e identificação de riscos [50].

Apesar dos avanços, persistem barreiras técnicas e organizacionais que limitam a difusão de soluções para gestão de risco [48]. Em contrapartida, experiências em contratos de parceria público-privada (PPP) mostram ganhos de desempenho quando processos são habilitados por BIM [17]. Tecnologias imersivas (VR/AR) e Digital Twins (DT) integradas ao BIM fortalecem o ecossistema digital, promovendo colaboração e visibilidade e reduzindo erros de interpretação em campo [26,56]. A avaliação de riscos caminha para abordagens *data-driven* e multimodais [24], com uso de NLP para identificar riscos contratuais [42] e integração de visão computacional e modelos generativos [9,25,40].

Tendências de pesquisa destacam otimização, simulação, gestão do conhecimento, inovação e fatores de sucesso, com ênfase em métodos quantitativos [54]. No ambiente construído, a Indústria 4.0 incorpora BIM, gestão do conhecimento e inovação [13]; aplicações concretas incluem DT e manutenção preditiva, ontologias para renovações e classificação automática de textos segundo classes IFC [21,12]. Sistemas de consulta em linguagem natural têm mostrado respostas mais rápidas que especialistas em determinadas tarefas [44,33].

Combinações de dados geoespaciais, *Fuzzy*-AHP, redes neurais profundas e XAI têm aumentado a interpretabilidade em seleções de sítios [2]. Em construção modular, análises sociais mostram que riscos de produtividade são fortemente mediados por interações entre stakeholders [45,49,60]. Plataformas de gestão de risco baseadas em ML e raciocínio por casos automatizam etapas a partir de dados de acidentes [28]; o NLP transforma documentos não estruturados em informação utilizável para decisão [7].

No domínio de custos, o 5D BIM é relevante para estimativa e controle, ainda que adotado de forma fragmentada [22]. A IA explicável surge como elemento-chave para aumentar a transparência, reduzir vieses e facilitar a aceitação destas soluções [27]. Modelos híbridos de avaliação de risco (por exemplo, MCS-AHP) têm sido propostos para tornar as estimativas de cronograma mais robustas [52]. Defende-se ainda a

extensão do uso do BIM ao longo de todas as fases do projeto para documentar processos, mão de obra, equipamentos e materiais [23]; porém, a confiança em projetos baseados em BIM depende de fatores organizacionais, como conhecimento, políticas, custos e governança [16].

A combinação de BIM com IoT, gêmeos digitais e IA viabiliza modelos preditivos integrados para custo, tempo, manutenção e risco [32], enquanto abordagens como NeRF-to-BIM reduzem esforço e custo na geração de modelos *as-built* em comparação ao *scan-to-BIM* tradicional [19]. A integração de BIM com DL tem demonstrado ganhos no controle de custos, recursos e cronogramas [46], e práticas como 4D BIM associadas a modelos ML/ANN contribuem para tratar com maior eficácia fatores críticos de sucesso relacionados ao projeto [10].

Em síntese, a literatura convergente apresenta o BIM como núcleo integrador que articula IA, ML, tecnologias imersivas e novas formas de captura de dados para reduzir incertezas e otimizar o desempenho ao longo do ciclo de vida.

DISCUSSÃO E CONCLUSÃO

Em resposta à RQ1, os resultados evidenciaram que a integração entre BIM e técnicas de ML tem sido explorada por meio de diferentes abordagens, incluindo modelos supervisionados e não supervisionados, DL, PLN e algoritmos de otimização. Essas técnicas são aplicadas principalmente no planejamento e controle de cronogramas e na gestão de riscos, com destaque para a automação de cronogramas a partir de dados BIM, o uso de aprendizado por reforço para o sequenciamento de atividades e a extração de informações a partir de documentos não estruturados.

Em relação à RQ2, a literatura aponta que a integração entre BIM e ML contribui para a transição de práticas manuais para abordagens orientadas por dados, permitindo maior precisão na previsão de prazos, melhor alocação de recursos e maior capacidade de adaptação a incertezas. Também se observa o avanço de soluções voltadas à automação do monitoramento de progresso e à análise preditiva de riscos. Nesse contexto, o BIM consolida-se como um núcleo integrador de informações, ampliando sua função para além da modelagem e atuando como base para sistemas inteligentes de apoio à decisão. Além disso, a literatura evidencia que a integração entre BIM e ML ocorre de forma articulada com outras tecnologias digitais emergentes, como DT, Internet das Coisas, realidade aumentada e virtual (AR/VR), LiDAR e Blockchain. Esse ecossistema tecnológico amplia o potencial de automação, monitoramento e simulação ao longo do ciclo de vida dos projetos, contribuindo para a redução de incertezas e a melhoria do desempenho operacional.

No que se refere à RQ3, persistem desafios relevantes. Barreiras técnicas, especialmente relacionadas à interoperabilidade entre plataformas e à limitação de padrões consolidados, dificultam a integração entre BIM e ML. Embora iniciativas como o IFC e a ISO 19650 estabeleçam diretrizes importantes, sua aplicação prática ainda apresenta limitações. Além disso, fatores como a necessidade de capacitação

especializada, limitações na qualidade dos dados e resistência à adoção de novas tecnologias restringem a implementação em larga escala.

Finalmente, em resposta à RQ4, a análise evidencia lacunas importantes na literatura. Destaca-se a limitada presença de estudos com validação empírica em contextos reais, bem como a escassez de investigações sobre a aplicação dessas tecnologias em projetos de pequeno e médio porte. Questões relacionadas à escalabilidade, integração entre múltiplas tecnologias e consolidação metodológica também permanecem em aberto, indicando oportunidades relevantes para pesquisas futuras.

Cabe reconhecer, ainda, as limitações inerentes ao próprio estudo. A busca foi restrita a duas bases de dados (Scopus e Periódicos CAPES), o que pode ter excluído trabalhos relevantes indexados em outras fontes. O recorte temporal adotado (2023–2024), embora justificado pela rápida evolução das tecnologias analisadas, limita a abrangência histórica da revisão. A restrição a publicações em acesso aberto e a predominância de estudos em língua inglesa introduzem potencial viés de idioma e de seleção, podendo sub-representar investigações desenvolvidas em outros contextos regionais ou publicadas em periódicos de acesso restrito.

Dessa forma, este estudo contribui ao sistematizar avanços recentes na integração entre BIM e ML e ao evidenciar seus benefícios, desafios e lacunas no contexto da gestão de tempo e riscos. Em síntese, embora essa integração apresente potencial significativo para aprimorar a eficiência e a tomada de decisão, sua consolidação depende do enfrentamento das limitações técnicas, organizacionais e metodológicas ainda existentes.

DECLARAÇÃO

Durante a preparação deste artigo, os autores utilizaram a ferramenta de Inteligência Artificial Generativa ChatGPT, desenvolvida pela OpenAI, nas versões GPT-4 e GPT-5. A ferramenta foi empregada para auxiliar na formatação de referências, organização de ideias, refinamento da redação acadêmica, revisão linguística e gramatical, verificação da coesão, da clareza e da coerência textual, bem como na síntese e revisão de conteúdos específicos. Sua utilização ocorreu na introdução, na metodologia, na revisão dos estudos selecionados e na discussão e conclusão do artigo. Após a utilização da ferramenta, os autores revisaram e editaram o conteúdo conforme necessário e assumem total responsabilidade pelo conteúdo do artigo publicado.

REFERÊNCIAS

[1] ALIU, J. et al. Towards a New Paradigm of Project Management: A Bibliometric Review. **Sustainability (Switzerland)**, v. 15, n. 13, p. 9967, 22 jun. 2023. DOI: https://doi.org/10.3390/su15139967.

[2] ALQAHTANI, D. et al. Optimizing Residential Construction Site Selection in Mountainous Regions Using Geospatial Data and eXplainable AI. **Sustainability (Switzerland)** , v. 16, n. 10, p. 4235, 1 maio 2024. DOI: https://doi.org/10.3390/su16104235.

[3] AL-SINAN, M. A.; BUBSHAIT, A. A.; ALJAROUDI, Z. Generation of Construction Scheduling through Machine Learning and BIM: A Blueprint. **Buildings**, v. 14, n. 4, p. 934, 28 mar. 2024. DOI: https://doi.org/10.3390/buildings14040934.

[4] ALZARA, M. et al. Building a Genetic Algorithm-Based and BIM-Based 5D Time and Cost Optimization Model. **IEEE Access**, v. 11, p. 122502–122515, 2023. DOI: https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3317137.

[5] AMER, F.; JUNG, Y.; GOLPARVAR-FARD, M. Construction schedule augmentation with implicit dependency constraints and automated generation of lookahead plan revisions. **Automation in Construction**, v. 152, p. 104896, ago. 2023. DOI: https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.104896.

[6] AVENDAÑO, J. I.; DOMINGO, A.; ZLATANOVA, S. Building Information Modeling in Steel Building Projects Following BIM-DFE Methodology: A Case Study. **Buildings**, v. 13, n. 9, p. 2137, 23 ago. 2023. DOI: https://doi.org/10.3390/buildings13092137.

[7] BAHNAS, N. et al. Monitoring and controlling engineering projects with blockchain-based critical chain project management. **Automation in Construction**, v. 165, p. 105484, set. 2024. DOI: https://doi.org/10.1016/j.autcon.2024.105484.

[8] BALASUBRAMANI, M. et al. **Construction Project Management Using Natural Language Processing Technology**. 2023 6th International Conference on Contemporary Computing and Informatics (IC3I). **Anais**...IEEE, 14 set. 2023. DOI: https://doi.org/10.1109/IC3I59117.2023.10397999.

[9] CHEN, D. et al. Automated fire risk assessment and mitigation in building blueprints using computer vision and deep generative models. **Advanced Engineering Informatics**, v. 62, p. 102614, 5 jun. 2024. DOI: https://doi.org/10.1016/j.aei.2024.102614.

[10] DATTA, S. D. et al. Critical project management success factors analysis for the construction industry of Bangladesh. **International Journal of Building Pathology and Adaptation**, v. 43, n. 3, p. 482–511, 2023. DOI: https://doi.org/10.1108/IJBPA-01-2022-0006.

[11] DING, L.; ZHOU, Y.; AKINCI, B. Building Information Modeling (BIM) application framework: The process of expanding from 3D to computable nD. **Automation in Construction**, v. 46, p. 82–93, out. 2014. DOI: https://doi.org/10.1016/j.autcon.2014.04.009.

[12] DOUKARI, O. et al. An ontology-based tool for safety management in building renovation projects. **Journal of Building Engineering**, v. 84, p. 108609, 1 maio 2024. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jobe.2024.108609.

[13] EASTMAN, C. et al. **BIM Handbook A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors**. 2. ed. Nova Jersey: Wiley Publishing, 2008.

[14] ELNOKALY, A. et al. Framework to assess connection of risk factors and management strategies in Building Information Modeling. **Academia Engineering**, v. 1, n. 4, dez. 2024. DOI: https://doi.org/10.20935/AcadEng7392.

[15] FARAJI, A. et al. Building Information Modeling (BIM), Blockchain, and LiDAR Applications in Construction Lifecycle: Bibliometric, and Network Analysis. **Buildings**, v. 14, n. 4, p. 919, 1 abr. 2024. DOI: https://doi.org/10.3390/buildings14040919.

[16] FAROUK, A. M. et al. Factors, Challenges and Strategies of Trust in BIM-Based Construction Projects: A Case Study in Malaysia. **Infrastructures**, v. 8, n. 1, p. 13, 1 jan. 2023. DOI: https://doi.org/10.3390/infrastructures8010013.

[17] GHORBANY, S.; NOORZAI, E.; YOUSEFI, S. BIM-based solution to enhance the performance of public-private partnership construction projects using copula bayesian network. **Expert Systems with Applications**, v. 216, p. 119501, 15 abr. 2023. DOI: https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.119501.

[18] GONDIA, A. et al. Machine learning-based construction site dynamic risk models. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 189, p. 122347, 1 abr. 2023. DOI: https://doi.org/10.1016/j.techfore.2023.122347.

[19] HACHISUKA, S.; TONO, A.; FISHER, M. Harbingers of NeRF-to-BIM: a case study of semantic segmentation on building structure with neural radiance fields. **Proceedings of the European Conference on Computing in Construction**, v. 4, p. 0–0, 10 jul. 2023. Disponível em: https://ec-3.org/wp-content/uploads/2025/10/EC32023_284.pdf. Acesso em: 13 jun. 2026.

[20] HONG, Y. et al. Graph-Based Automated Construction Scheduling without the Use of BIM. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 149, n. 2, fev. 2023. DOI: https://doi.org/10.1061/JCEMD4.COENG-12687.

[21] HOSSEINI GOURABPASI, A.; NIK-BAKHT, M. BIM-based automated fault detection and diagnostics of HVAC systems in commercial buildings. **Journal of Building Engineering**, v. 87, p. 109022, 15 jun. 2024. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jobe.2024.109022.

[22] HUSSAIN, O. A. I. et al. Minimizing Cost Overrun in Rail Projects through 5D-BIM: A Systematic Literature Review. **Infrastructures,** 1 maio 2023. DOI: https://doi.org/10.3390/infrastructures8050093.

[23] HUYMAJER, M. et al. Building Information Modeling in the execution phase of conventional tunneling projects. **Tunnelling and Underground Space Technology**, v. 146, p. 105539, 1 abr. 2024. DOI: https://doi.org/10.1016/j.tust.2023.105539.

[24] JUNJIA, Y. et al. A Bibliometric Review on Safety Risk Assessment of Construction Based on CiteSpace Software and WoS Database. **Sustainability 2023, Vol. 15, Page 11803**, v. 15, n. 15, p. 11803, 1 ago. 2023. DOI: https://doi.org/10.3390/su151511803.

[25] KAZEEM, K. O.; OLAWUMI, T. O.; OSUNSANMI, T. Roles of Artificial Intelligence and Machine Learning in Enhancing Construction Processes and Sustainable Communities. **Buildings**, v. 13, n. 8, p. 2061, 13 ago. 2023. DOI: https://doi.org/10.3390/buildings13082061.

[26] LIU, Z. et al. Immersive Technologies-Driven Building Information Modeling (BIM) in the Context of Metaverse. **Buildings**, v. 13, n. 6, p. 1559, 19 jun. 2023. DOI: https://doi.org/10.3390/buildings13061559.

[27] LOVE, P. E. D. et al. Explainable artificial intelligence (XAI): Precepts, models, and opportunities for research in construction. **Advanced Engineering Informatics**, v. 57, p. 102024, 1 ago. 2023. DOI: https://doi.org/10.1016/j.aei.2023.102024.

[28] LU, Y. et al. Using cased based reasoning for automated safety risk management in construction industry. **Safety Science**, v. 163, p. 106113, 1 jul. 2023. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ssci.2023.106113.

[29] MAKSUDOVNA, V. K. et al. Determination of the estimated cost based on aggregated unit prices using information modeling (BIM) and text mining technologies. **E3S Web of Conferences**, v. 430, p. 01191, 6 out. 2023. DOI: https://doi.org/10.1051/e3sconf/202343001191.

[30] MANDIČÁK, T.; SPIŠÁKOVÁ, M.; MÉSÁROŠ, P. Sustainable Design and Building Information Modeling of Construction Project Management towards a Circular Economy. **Sustainability (Switzerland)**, v. 16, n. 11, p. 4376, 22 maio 2024.DOI: https://doi.org/10.3390/su16114376.

[31] MÜLLER, R. et al. Artificial Intelligence and Project Management: Empirical Overview, State of the Art, and Guidelines for Future Research. **Project Management Journal**, v. 55, n. 1, p. 9–15, 9 fev. 2024. DOI: https://doi.org/10.1177/87569728231225198.

[32] MUZI, F.; MARZO, R.; NARDI, F. Digital Information Management in the Built Environment: Data-Driven Approaches for Building Process Optimization. Em: **The Urban**

Book Series. Springer Science and Business Media Deutschland GmbH, 2023. v. Partp. 123–132. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-29515-7_12.

[33] NABAVI, A. et al. Leveraging natural language processing for automated information inquiry from building information models. **Journal of Information Technology in Construction**, v. 28, p. 266–285, 1 jan. 2023. DOI: 10.36680/j.itcon.2023.013.

[34] NENNI, M. E. et al. How artificial intelligence will transform project management in the age of digitization: a systematic literature review. **Management Review Quarterly**, v. 1, n. 1, 9 abr. 2024. DOI: https://doi.org/10.1007/s11301-024-00418-z.

[35] PÉREZ, Y.; ÁVILA, J.; SÁNCHEZ, O. Influence of BIM and Lean on mitigating delay factors in building projects. **Results in Engineering**, v. 22, p. 102236, 1 maio 2024. DOI: https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.102236.

[36] PRIETO, S. A.; MENGISTE, E. T.; GARCÍA DE SOTO, B. Investigating the Use of ChatGPT for the Scheduling of Construction Projects. **Buildings**, v. 13, n. 4, p. 857, 24 mar. 2023. DOI: https://doi.org/10.3390/buildings13040857.

[37] RASHIDI NASAB, A. et al. Managing Safety Risks from Overlapping Construction Activities: A BIM Approach. **Buildings**, v. 13, n. 10, p. 2647, out. 2023. DOI: https://doi.org/10.3390/buildings13102647.

[38] RAZA, M. S. et al. Potential features of building information modeling (BIM) for application of project management knowledge areas in the construction industry. **Heliyon**, v. 9, n. 9, p. 19697, 1 set. 2023. DOI: https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e19697.

[39] REJA, V. K. et al. Hybrid self-supervised learning-based architecture for construction progress monitoring. **Automation in Construction**, v. 158, p. 105225, 1 fev. 2024. DOI: https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.105225.

[40] SALZANO, A. et al. Construction Safety and Efficiency: Integrating Building Information Modeling into Risk Management and Project Execution. **Sustainability**, v. 16, n. 10, p. 4094, 1 jan. 2024. DOI: https://doi.org/10.3390/su16104094.

[41] SHAMSHIRI, A.; RYU, K. R.; PARK, J. Y. Text mining and natural language processing in construction. **Automation in Construction**, v. 158, p. 105200, 1 fev. 2024. DOI: https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.105200.

[42] SHUAI, B. A rationale-augmented NLP framework to identify unilateral contractual change risk for construction projects. **Computers in Industry**, v. 149, p. 103940, 10 maio 2023. DOI: https://doi.org/10.1016/j.compind.2023.103940.

[43] SINGH, A. K. et al. Prospects of Integrating BIM and NLP for Automatic Construction Schedule Management. **Proceedings of the International Symposium on Automation and Robotics in Construction**, p. 238–245, jul. 2023.

[44] SOBHKHIZ, S.; EL-DIRABY, T. Dynamic integration of unstructured data with BIM using a no-model approach based on machine learning and concept networks. **Automation in Construction**, v. 150, p. 104859, 1 jun. 2023. DOI: https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.104859.

[45] VELEZMORO-ABANTO, L. et al. Lean Construction Strategies Supported by Artificial Intelligence Techniques for Construction Project Management--A Review. **International Journal of Online & Biomedical Engineering**, v. 20, n. 3, p. 99–114, 2024. DOI: 10.3991/ijoe.v20i03.46769.

[46] WANG, F.; CHEN, L. The Control of Civil Engineering Projects Based on Deep Learning and Building Information Modeling. **Information Resources Management Journal**, v. 36, n. 1, 1 jan. 2023. DOI: https://doi.org/10.4018/IRMJ.329250.

[47] WANG, S.; FENG, K.; WANG, Y. Modeling Performance and Uncertainty of Construction Planning under Deep Uncertainty: A Prediction Interval Approach. **Buildings**, v. 13, n. 1, p. 254, jan. 2023. DOI: https://doi.org/10.3390/buildings13010254.

[48] WAQAR, A. et al. Impediments in BIM implementation for the risk management of tall buildings. **Results in Engineering**, v. 20, p. 101401, 1 dez. 2023. DOI: https://doi.org/10.1016/j.rineng.2023.101401.

[49] WAQAR, A. et al. Limitations to the BIM-based safety management practices in residential construction project. **Environmental Challenges**, v. 14, p. 100848, 1 jan. 2024. DOI: https://doi.org/10.1016/j.envc.2024.100848.

[50] WAQAR, A. Intelligent decision support systems in construction engineering: An artificial intelligence and machine learning approaches. **Expert Systems with Applications**, v. 249, p. 123503, 1 set. 2024. DOI: https://doi.org/10.1016/j.eswa.2024.123503.

[51] WEFKI, H.; ELNAHLA, M.; ELBELTAGI, E. BIM-based schedule generation and optimization using genetic algorithms. **Automation in Construction**, v. 164, p. 105476, ago. 2024. DOI: https://doi.org/10.1016/j.autcon.2024.105476.

[52] XINFA, T. et al. Research on construction schedule risk management of power supply and distribution projects based on MCS-AHP model. **Frontiers in Energy Research**, v. 10, p. 1104007, 12 jan. 2023. DOI: https://doi.org/10.3389/fenrg.2022.1104007.

[53] YANG, J.; YIN, S. Risk Management for Housing and Construction Projects. **Journal of Engineering, Project, and Production Management**, v. 14, n. 1, p. 1–11, 11 nov. 2023. DOI: http://doi.org/10.32738/JEPPM-2024-0011.

[54] YANG, Q.; TIAN, P. New product development project management: Insights and research tendency from a bibliometric-based literature review. **Concurrent Engineering Research and Applications**, v. 31, n. 1–2, p. 65–79, 1 mar. 2023. DOI: https://doi.org/10.1177/1063293X221144305.

[55] YE, Z. et al. Building information modeling (BIM) in project management: a bibliometric and science mapping review. **Engineering, Construction and Architectural Management**, v. 32, n. 5, p. 3078-3103, fev. 2024. DOI: https://doi.org/10.1108/ECAM-04-2023-0355.

[56] YOON, J.-W.; LEE, S.-H. Development of a Construction-Site Work Support System Using BIM-Marker-Based Augmented Reality. **Sustainability 2023, Vol. 15, Page 3222**, v. 15, n. 4, p. 3222, 10 fev. 2023. DOI: https://doi.org/10.3390/su15043222.

[57] ZABALA-VARGAS, S.; JAIMES-QUINTANILLA, M.; JIMENEZ-BARRERA, M. H. Big Data, Data Science, and Artificial Intelligence for Project Management in the Architecture, Engineering, and Construction Industry: A Systematic Review. **Buildings**, v. 13, n. 12, p. 2944, 1 dez. 2023. DOI: https://doi.org/10.3390/buildings13122944.

[58] ZHANG, Y. et al. A heuristic rule adaptive selection approach for multi-work package project scheduling problem. **Expert Systems with Applications**, v. 238, p. 122092, 16 out. 2023. DOI: https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.122092.

[59] ZHAO, X. Construction risk management research: intellectual structure and emerging themes. **International Journal of Construction Management**, v. 24, n. 5, p. 540–550, 16 jan. 2024. DOI: https://doi.org/10.1080/15623599.2023.2167303.

[60] ZHOU, J. X. et al. Modeling stakeholder-associated productivity performance risks in modular integrated construction projects of Hong Kong: A social network analysis. **Journal of Cleaner Production**, v. 423, p. 138699, 9 set. 2023. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.138699.