ENTAC 2024
XX ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO
Maceió, Brasil, 9 a 11 de outubro de 2024

Integração entre BIM e Robótica na Construção Civil: Avanços, Desafios e Perspectivas Futuras

Integration of BIM and Robotics in Construction: Advances, Challenges, and Future Perspectives

Tharlys Hikaro Pinheiro Silva
Universidade de Brasília | Brasília | Brasil | tharlys.hikaro@gmail.com
Igor Cleyton Ferreira de Sousa
Universidade de Brasília | Brasília | Brasil | igormath01@hotmail.com
Dyanna Karla Pinheiro Tavares de Lima
Universidade de Brasília | Brasília | Brasil | dyannaklima@gmail.com
Michele Tereza Marques Carvalho
Universidade de Brasília | Brasília | Brasil | micheletereza@unb.br

Resumo

A integração entre *Building Information Modeling* (*BIM*) e robótica está revolucionando a indústria da construção civil, mas enfrenta desafios significativos como a interoperabilidade e a complexidade do ambiente de trabalho. Este estudo visa explorar avanços, desafios e perspectivas futuras dessa integração por meio de uma revisão sistemática da literatura. A metodologia inclui coleta de dados na plataforma *SCOPUS*, análise quantitativa com o software *VOSviewer* e análise qualitativa dos artigos mais influentes. Os resultados destacam a melhoria na eficiência e segurança dos processos construtivos, a automação de tarefas e a necessidade de desenvolvimento de habilidades especializadas. O estudo oferece insights valiosos para pesquisadores e profissionais, destacando oportunidades de pesquisa e desenvolvimento para o futuro.

Palavras-chave: *Building information modeling*. Robótica. Construção civil.

Abstract

The integration of Building Information Modeling (BIM) and robotics is revolutionizing the construction industry but faces significant challenges such as interoperability and the complexity of work environments. This study aims to explore the advancements, challenges, and future prospects of this integration through a systematic literature review. The methodology includes data collection from the Scopus platform, quantitative analysis using VOSviewer software, and qualitative analysis of the most influential articles. The results highlight improvements in efficiency and safety of construction processes, task automation, and the need for the development of specialized skills. The study provides valuable insights for researchers and professionals, highlighting opportunities for future research and development.

Keywords: Building information modeling. Robotics. Construction.

Como citar:
SILVA, T.H.P et al. Integração entre BIM e Robótica na Construção Civil: Avanços, Desafios e Perspectivas Futuras. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 20., 2024, Maceió. **Anais**... Maceió: ANTAC, 2024.

INTRODUÇÃO

A indústria da construção desempenha um papel fundamental no crescimento econômico de muitos países. As obras de construção são inerentemente intensivas em mão de obra, ineficientes e dependem fortemente de processos manuais, que são propensos a erros instrumentais e humanos, além da fadiga [1]. Outro desafio é a resistência do setor a mudanças tecnológicas. Baseado nisso, cabem soluções de vários tipos no canteiro de obras para aumento de produtividade, redução de desperdícios, diminuição do número de acidentes no trabalho, agilização de processos, entre outras demandas. Nos últimos anos, tem havido um rápido desenvolvimento de soluções robóticas para automação de construção que trazem enormes melhorias na produtividade, qualidade e outros aspectos do trabalho de construção [2].

A robótica é considerada um meio eficaz para resolver problemas de escassez de mão de obra e crescimento estagnado da produtividade na construção [3][4][5]. No entanto, é um desafio para os robôs trabalharem em canteiros de obras devido aos ambientes de trabalho em evolução e não estruturados [6][7], condições diferentes de projeto para projeto [8] e a prevalência de tarefas de trabalho quase repetitivas [9].

A parceria entre humanos e robôs tem a capacidade de superar diversos desafios que surgem durante a execução de tarefas de construção no campo. A vantagem dos robôs colaborativos reside na oportunidade de combinar a inteligência humana e a flexibilidade com a força, precisão e repetibilidade do robô [10][11]. A colaboração pode aumentar a produtividade, melhorar a qualidade e a segurança humana [12][13]. Também pode reduzir o esforço físico dos humanos, uma vez que tarefas repetitivas serão realizadas por robôs.

O conhecimento dos dados prediais é fundamental para a aplicação de soluções robóticas na construção e operação. Isto se deve a dois principais fatores dificultadores. Primeiro, a natureza não estruturada e dinâmica dos canteiros de obras representa um desafio maior para a implantação robótica em comparação com as fábricas. Em segundo lugar, cada edifício possui características únicas em sua geometria, tipologia, função, material e aparência [14]. Por estas razões, um robô de construção precisa ser flexível e capaz de se adaptar a ambientes complexos que são sempre únicos e mudam com o tempo. Pesquisas foram realizadas para tornar o mapeamento robótico, a navegação e a cognição semântica de ambientes dinâmicos confiáveis e robustos [15][16].

Entre as ferramentas de software para concepção de projetos, *o Building Information Modeling* (*BIM*) está se espalhando constantemente na indústria da construção [17], tanto que está se tornando um padrão no setor público de muitos países em todo o mundo [18]. Desde o momento em que a metodologia *BIM* estava em desenvolvimento, dois dos seus principais objetivos têm sido: fornecer uma base de dados digital para colaboração entre as partes interessadas da indústria da construção e armazenar informações nesta base de dados para reutilização em aplicações adicionais [19].

A integração do *BIM* com a robótica representa um avanço significativo para a indústria da construção. O *BIM* fornece informações semânticas e geométricas que auxiliam na correspondência de características, estimativa de localização, tomada de decisões do robô e imposição de restrições geométricas. Essa integração pode agilizar a inicialização e aprimorar a precisão da localização, melhorando os sistemas de navegação de robôs automatizados. Dessa forma, os robôs se tornam operadores eficientes, capazes de realizar tarefas complexas e cooperar com máquinas externas e operadores humanos [20].

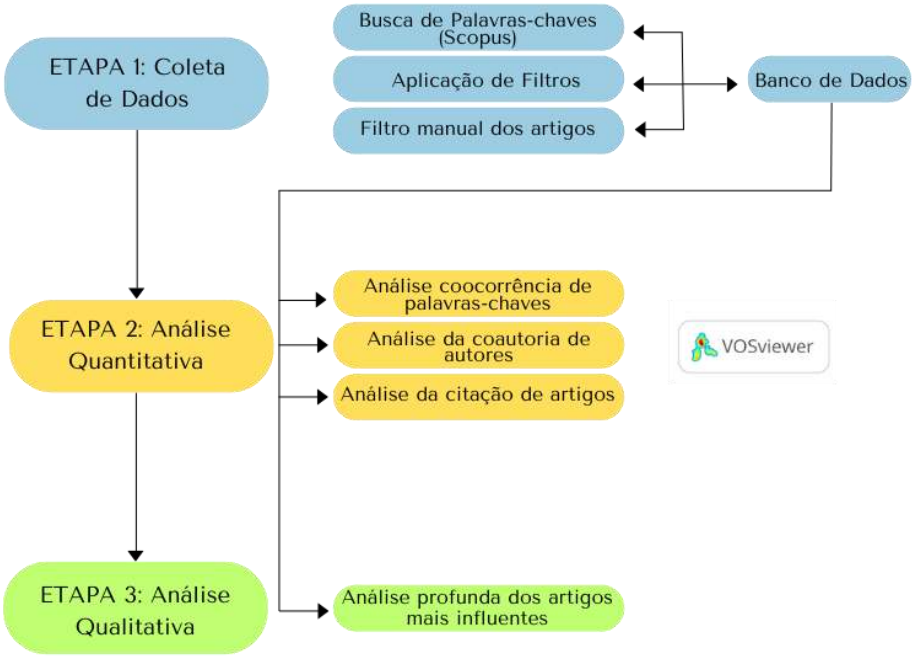
Este estudo propõe uma investigação abrangente sobre o tema, com o objetivo de realizar uma revisão da literatura e avaliar as tendências para futuras pesquisas, além de identificar lacunas na implementação conjunta dessas duas áreas na construção civil. A análise das áreas críticas e das tendências emergentes na integração do *BIM* com a robótica na construção civil foi realizada por meio de métodos bibliométricos. Como resultado, este estudo oferece *insights* para pesquisadores que desejam iniciar ou continuar trabalhando nesse campo nos próximos anos.

METODOLOGIA

Na realização deste estudo, empregou-se a Revisão Sistemática da Literatura (RSL). A RSL é uma forma de pesquisa que adere a protocolos específicos, visando compreender e racionalizar um extenso conjunto de documentos. Além disso, enfatiza a replicabilidade ao detalhar fontes, estratégias de busca, seleção, análise dos artigos e suas limitações [21].

A metodologia adotada consiste em três etapas distintas, conforme fluxograma (figura 1): coleta de dados, revisão quantitativa e revisão qualitativa. A coleta de dados é fundamental, influenciando significativamente as conclusões do estudo. Após essa fase, o *software* de análise bibliométrica, *VOSviewer*, foi utilizado para analisar artigos correlatos, mapeando e visualizando redes. Por fim, uma análise abrangente dos artigos mais influentes foi realizada, embasando as conclusões e recomendações futuras para o campo em análise.

Figura 1: Fluxograma metodologia RSL



Fonte: Autores.

COLETA DE DADOS

Utilizou-se a plataforma de pesquisa da *SCOPUS* para a coleta de dados, com as seguintes *strings* de busca: ("*BIM*" OR "*Building Information Model**") AND ("*Robot**") AND ("*Construction*" OR "*Building*").

Após a busca inicial, foram encontrados 902 documentos. Após filtragem temporal para o período de 2019 a 2024 restaram 498 documentos. Uma filtragem por área, focando em Engenharia, resultou em 427 documentos. Por último, ao filtrar por tipo de documento (artigos), restaram 105 documentos para análise.

Após a filtragem inicial, procedeu-se com a filtragem manual, consistindo na leitura dos resumos dos documentos e na comparação com o escopo da pesquisa, centrada na integração entre *BIM* e Robótica na indústria da construção. Este processo resultou em uma seleção de 52 artigos, que constituem o banco de dados, para as etapas subsequentes.

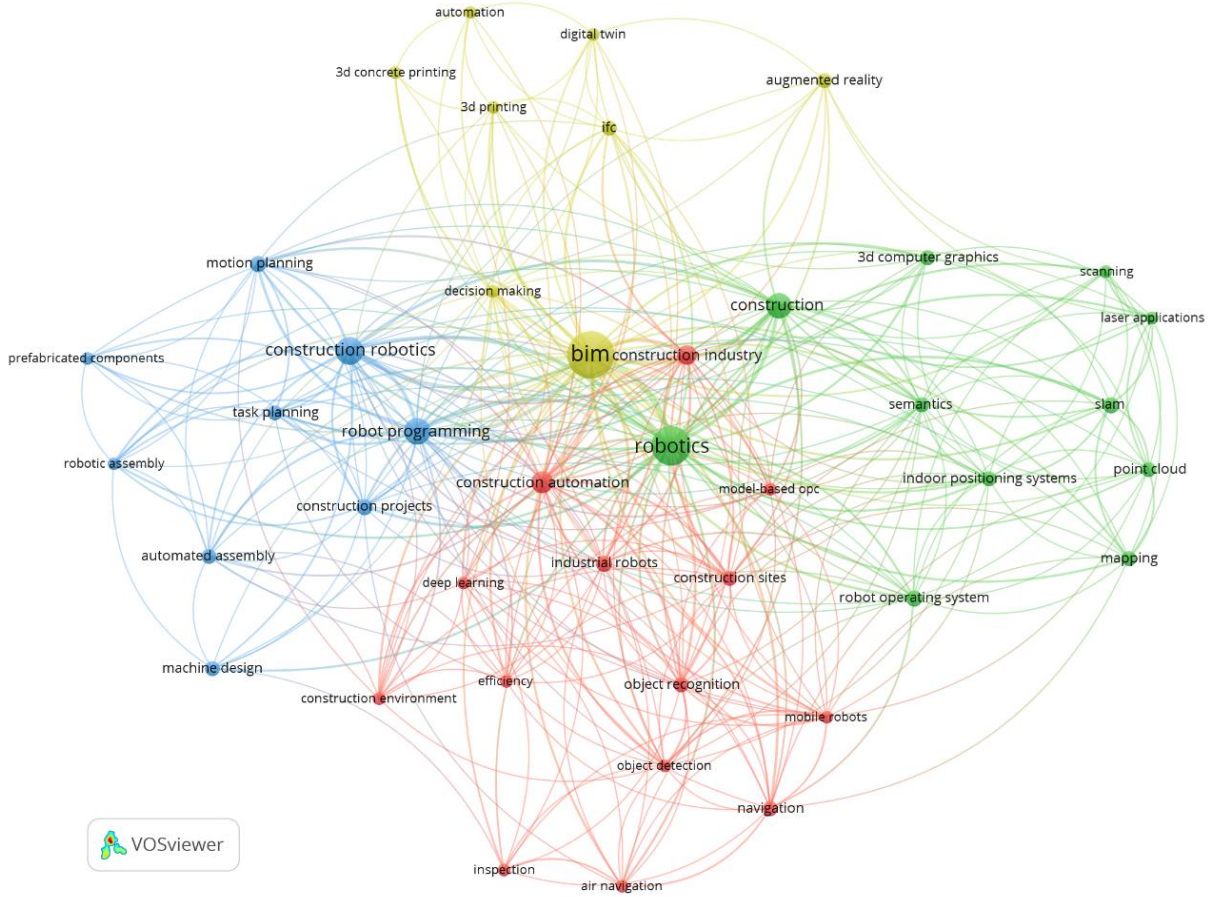
ANÁLISE QUANTITATIVA

Na segunda etapa deste estudo de revisão, ocorre a construção, visualização e análise da rede bibliométrica, uma técnica estatística aplicada à literatura científica que utiliza dados como número de publicações, citações, coautoria e frequência de palavras-chave para mapear conhecimento em áreas específicas, avaliar impacto da pesquisa, identificar tendências e analisar redes de colaboração entre autores [22].

Uma técnica de mapeamento científico envolve analisar a coocorrência de palavras-chave entre artigos, destacando a principal corrente de pesquisa em um campo [23]. Essa análise revela temas centrais, tecnologias dominantes e tendências emergentes.

No *VOSviewer*, o banco de dados bibliográfico foi inserido, agrupando palavras semelhantes. A figura 2 mostra a rede de coocorrência de palavras-chave com 4 clusters, 359 ligações e força de ligação de 656, composta por 42 palavras-chave com pelo menos 4 ocorrências. Círculos e linhas representam nós e conexões; quanto maior a dimensão, mais relacionados estão, com cores identificando os clusters.

Figura 2: Mapeamento bibliométrico da coocorrência de palavra-chave



Fonte: Autores.

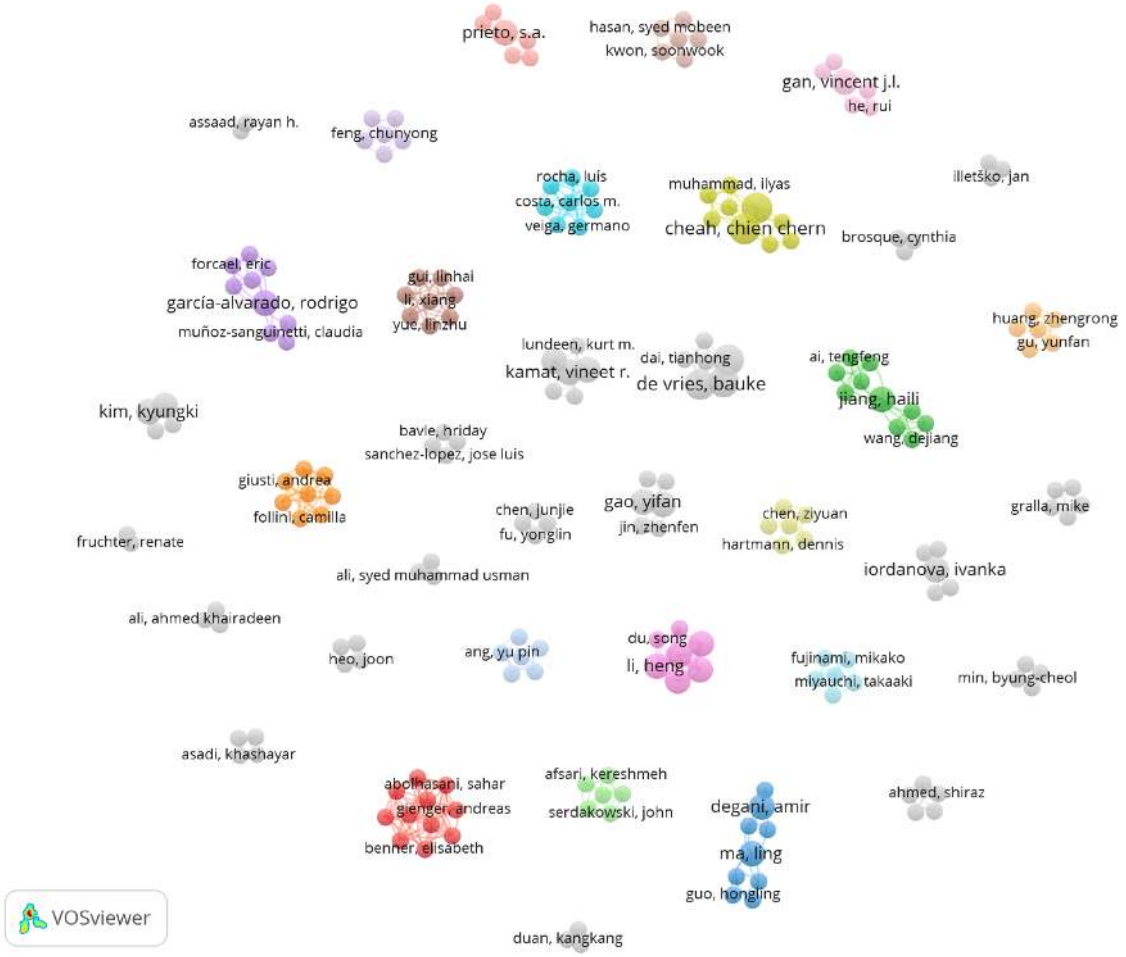
Na figura 2 observa-se uma variedade de tópicos e tecnologias na integração *BIM* e robótica na construção civil, incluindo automação, eficiência, impressão 3D e realidade aumentada (AR). Essa diversidade reflete a complexidade e dinamismo do campo. Palavras-chave frequentes, como "*bim*", "*construction robotics*", "*robotics*", "*robot programming*" e "*automation*", são centrais nas discussões sobre o tema. Tecnologias emergentes como "*3d printing*", "*augmented reality*", "*digital twin*", "*deep learning*", "*automated assembly*" e "*robotic assembly*" mostram o crescente interesse em soluções avançadas para automação de processos na construção. A robótica é vital na automação desses processos, evidenciada por termos como "*industrial robots*", "*mobile robots*" e "*robotic programming*".

Cada *cluster* destaca conceitos e tecnologias cruciais na integração de *BIM* e robótica na construção. O *cluster* verde aborda tecnologias de captura e processamento de dados, como "*3d computer graphics*", "*laser applications*", "*mapping*", "*point cloud*" e "*SLAM*", essenciais para visualização tridimensional e navegação. O *cluster* azul inclui

termos como "*construction robotics*", "*robotic assembly*" e "*task planning*", refletindo o interesse em sistemas robóticos para execução de tarefas específicas. O cluster vermelho, com palavras como "*inspection*", "*efficiency*", "*object detection*" e "*construction sites*", reflete o interesse na otimização de processos, como inspeções robóticas, por exemplo. O cluster amarelo, com "*3d printing*", "*digital twin*", "*augmented reality*", "*ifc*" e "*automation*", foca em tecnologias emergentes e automação em espaços *openBIM*.

Analisar os principais contribuintes da pesquisa, através da análise de coautoria de autores, em um campo revela insights sobre sua evolução, tendências, qualidade e destaca redes de colaboração, fornecendo uma visão abrangente da trajetória intelectual do campo [24]. Para esta análise, utiliza-se o banco de dados com o auxílio do *VOSviewer*, cujo resultado é apresentado na Figura 3. A análise dos dados mostra que "Cheah, Chien Chern" e "de Vries, Bauke" são os autores com mais documentos (3 cada) e citações (35 cada). Outros 3 autores que também possuem 3 documentos e 35 citações, mas estão conectados aos dois autores mencionados e são coautores nos mesmos artigos. Por outro lado, "Gan, Vincent J.L." e "He, Rui" têm apenas 2 e 1 documento, respectivamente, porém com 100 e 97 citações, indicando que suas pesquisas e publicações, embora em menor número, tendem a introduzir conceitos inovadores ou descobertas impactantes que recebem mais atenção por publicação na comunidade de pesquisa. A Figura 3, além disso, mostra agrupamentos de autores com interesses de pesquisa semelhantes, mas sem colaborações diretas entre eles, ressaltando a falta de interação entre os grupos. Incentivar colaborações interdisciplinares pode promover uma pesquisa mais diversificada e estimular o crescimento do campo.

Figura 3: Mapeamento bibliométrico de coautoria de autores



Fonte: Autores.

A análise de citação de artigos foi usada para identificar trabalhos influentes, entender tendências de pesquisa, avaliar seu impacto e descobrir lacunas potenciais na literatura, afinal, a frequência de citação pode ser considerada uma medida significativa de sua relevância no campo de pesquisa [24]. A rede bibliométrica apresentou um máximo de 4 documentos conectados (figura 4), sugerindo uma falta de interconexão significativa possivelmente indicando dispersão ou fragmentação no campo estudado. Para complementar, o quadro 01 lista os 10 artigos mais influentes neste campo, medidos pelo número de citações.

Figura 4: Mapeamento bibliométrico de artigos



Fonte: Autores.

Quadro 1: 10 principais artigos com maior impacto no campo de estudo.

Documento	Citações	Título	Foco
He *et al* (2021) [25]	97	*BIM-enabled computerized design and digital fabrication of industrialized buildings: A case study*	*BIM* para design e fabricação digital de construções industrializadas, integrando impressão 3D e robótica.
Asadi *et al* (2019) [26]	93	*Real-time image localization and registration with BIM using perspective alignment for indoor monitoring of construction*	Automação da monitorização de construção com *BIM*, localização em tempo real via *SLAM* e aplicações robóticas.
Tavares *et al* (2019) [27]	68	*Collaborative Welding System using BIM for Robotic Reprogramming and Spatial Augmented Reality*	Soldagem otimizada por robótica em aço estrutural, utilizando *BIM* e *AR* para colaboração humano-robô.
Kim *et al* (2021) [28]	64	*Development of BIM-integrated construction robot task planning and simulation system*	Integração *BIM* e Sistema Operacional de Robôs (ROS) para planejamento e simulação de tarefas de robôs em projetos de construção
Lundeen *et al* (2019) [29]	52	*Autonomous motion planning and task execution in geometrically adaptive robotized construction work*	Adaptação autônoma de robôs na construção civil usando BIM para planejamento e execução de tarefas.
Hasan *et al* (2022) [30]	51	*Augmented reality and digital twin system for interaction with construction machinery*	Integração de Sistemas Ciber-Físicos, AR e Gêmeos Digitais na gestão de maquinário na construção.
Adán *et al* (2020) [31]	43	*An autonomous robotic platform for automatic extraction of detailed semantic models of buildings*	Sistema integrado que fornece automaticamente modelos semânticos 3D detalhados de edifícios usando robôs autônomos.
Follini *et al* (2021) [32]	37	*Bim-integrated collaborative robotics for application in building construction and maintenance*	Método para aplicar robótica na construção e manutenção de edifícios, usando modelos *BIM* para navegação e colaboração eficientes.
Zhu *et al* (2021) [33]	28	*Smart component-oriented method of construction robot coordination for prefabricated housing*	Abordagem orientada a componentes para coordenação de robôs na construção de habitações pré-fabricadas, utilizando *BIM* e *IoT*.
Muhammad *et al* (2021) [34]	25	*Robot-Assisted Object Detection for Construction Automation: Data and Information-Driven Approach*	Utilização de *BIM* para aprimorar detecção de objetos e inspeção em construções com robótica e inteligência artificial.

Fonte: Autores.

A tabela destaca várias contribuições significativas. O estudo conduzido por He et al. (2021), com 97 citações, mostra como o *BIM* pode transformar o design computadorizado e a fabricação digital na construção industrializada, integrando tecnologias como impressão 3D e automação robótica para otimizar o processo construtivo [25]. Outro trabalho influente é o de Asadi et al. (2019), com 93 citações, que avança na integração do *BIM* com a robótica através da automação do monitoramento de obras, usando técnicas de Localização e Mapeamento Simultâneos (*SLAM*) para registrar sequências de vídeo em tempo real com o *BIM*, melhorando a eficiência e precisão no acompanhamento da evolução das construções [26].

É notável que os dois artigos mais citados e os demais da tabela estão alinhados com os clusters identificados na análise de coocorrência de palavras-chave. O artigo mais citado se alinha com o cluster amarelo, que inclui "*bim*", "*robotics*" e "*3d printing*", enquanto o segundo se alinha com o cluster vermelho, com "*bim*", "*efficiency*", "*inspection*" e "*robotics*". Portanto, esses serão os 10 artigos considerados para a análise qualitativa.

Além disso, foi examinada a contribuição dos principais periódicos na área. "*Automation in Construction*" lidera, com 19 dos 52 documentos, representando 36,54% do total.

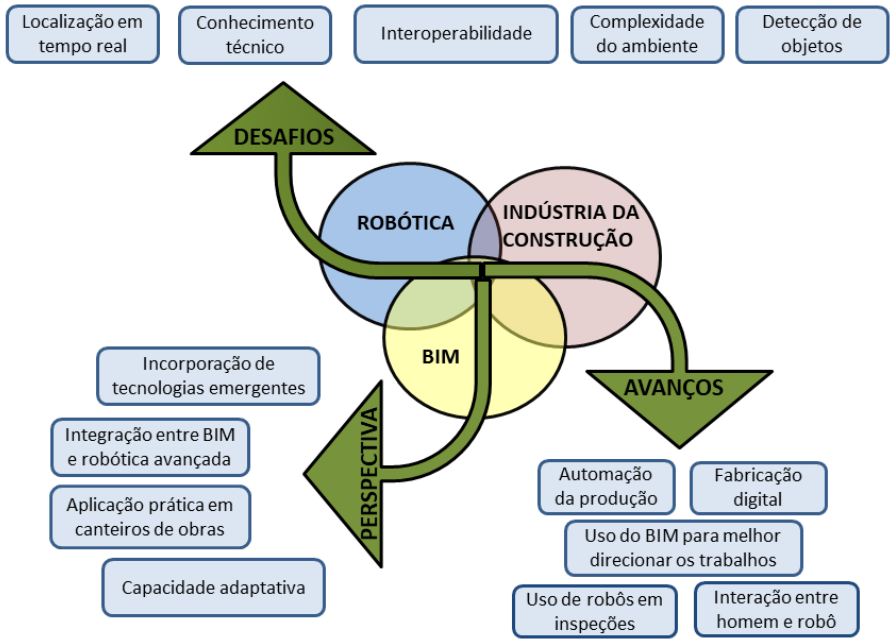
As análises ofereceram uma visão abrangente do campo, identificando temas dominantes, principais contribuidores, estrutura da comunidade de pesquisa e estudos impactantes. Essas percepções ajudam pesquisadores a alinhar seus estudos com as tendências, encontrar oportunidades de colaboração e abordar lacunas de pesquisa.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

ANÁLISE QUALITATIVA

Na terceira etapa, realizou-se uma análise qualitativa com base nos artigos mais influentes citados anteriormente. A análise qualitativa emerge como uma metodologia de pesquisa que prioriza a compreensão profunda e a interpretação dos fenômenos investigados [35]. Desta análise, desenvolveu-se um *framework* (Figura 5) que sintetiza os avanços, desafios e perspectivas futuras.

Figura 5: *Framework* da pesquisa



Fonte: Autores.

Destaca-se como desafio a interoperabilidade entre *BIM* e sistemas robóticos para garantir a consistência e precisão das informações no ciclo de vida do projeto [25].

Ádan *et al*. (2020) também veem como desafio a integração de dados de várias fontes e sensores para criar um modelo *BIM* coeso que reflita com precisão o estado atual do edifício [31]. Além disso, a complexidade do ambiente de construção, desestruturado, dinâmico e, em muitos casos, com características únicas, dificulta a implantação de sistemas robóticos, devido à localização imprecisa dos robôs e à execução de tarefas que se desviam do planejamento baseado em informações *BIM* [32][36].

Como avanços, destaca-se a automação na indústria da construção, incluindo o desenvolvimento de uma plataforma de varredura autônoma capaz de explorar e reconstruir ambientes internos de edifícios sem intervenção humana. Isso contribui para a inspeção usando robôs, facilitando o monitoramento em tempo real da construção e combinando *BIM* e robótica para uma melhor gestão do progresso do projeto e detecção precoce de potenciais problemas no cronograma, promovendo eficiência e sucesso no empreendimento. Dessa forma, o uso do *BIM* fornece informações geométricas e semânticas para sistemas robóticos, facilitando a implantação e operação de robôs em edifícios, beneficiando critérios de segurança e eficiência em áreas de inspeção, por exemplo [26][31][32][34].

Um avanço significativo na integração entre *BIM* e robótica para fabricação digital, com foco na impressão 3D, destaca a utilização do modelo *BIM* para apoiar o design e fabricação de habitações modulares. Simulações do sistema robótico de impressão 3D são realizadas para avaliar sua viabilidade na fabricação automática de módulos impressos em 3D, ressaltando a importância de unir a robótica ao *BIM* para automatizar e aprimorar o processo de fabricação na construção industrializada [25].

Em relação a interação entre homem e robô destaca-se o estudo de Tavares et al. (2019) que propôs um sistema colaborativo de soldagem que utiliza células de soldagem cooperativas integradas com padrões *BIM* para automatizar a coordenação de tarefas entre operadores humanos e robôs de soldagem. O avanço na interação homem-robô é evidenciado pela eliminação da necessidade de conhecimento especializado em robótica para operar a célula de soldagem, pois todas as informações são extraídas dos arquivos *Industry Foundation Classes* (IFC). Isso resulta em melhorias na produtividade e qualidade do produto, com interfaces que simplificam a análise de especificações de fabricação complexas pelo operador. Além disso, há correlações com a automação do processo de soldagem e o uso do *BIM* para aprimorar o fluxo de informações desde o design inicial até as etapas de produção, otimizando a qualidade do produto e reduzindo os custos de fabricação [27].

Os avanços apresentados sugerem uma perspectiva futura promissora, evidenciando como melhorias em uma área podem impulsionar o progresso em outras, contribuindo a superar desafios. A incorporação e integração de tecnologias emergentes, como a Internet das Coisas (IoT), a Inteligência Artificial (IA), a AR e os Sistemas Ciber-Físicos (CPS), podem trazer melhorias significativas na produtividade e precisão, otimizando a eficiência e a colaboração, além de aprimorar o processo de design e fabricação [25][27][33]. A aplicação de CPS integrado ao Gêmeo Digital e à AR, na gestão de maquinário de construção, onde a robótica pode ser aplicada, tem o potencial de

aprimorar a precisão das operações, a segurança no local de trabalho e a eficiência no monitoramento de projetos [29].

A integração entre *BIM* e robótica avançada constitui uma perspectiva, pois a integração de modelos *BIM* complexos e detalhados e robôs mais precisos permitirá simulações colaborativas de uma variedade maior de processos de construção podendo levar a um maior nível de automação no canteiro de obras. A implementação desses modelos facilita a colaboração entre robôs, reduzindo etapas e tempo de construção, melhorando a eficiência geral da construção [33].

Para avançar na integração entre *BIM* e robótica, é essencial ir além da simulação e alcançar a execução real no canteiro de obras. Isso requer o desenvolvimento de sistemas que permitam aos robôs operarem de forma eficaz não apenas na simulação, mas também de maneira prática e eficiente no ambiente real de construção, adaptando os sistemas robóticos para lidar com as complexidades do ambiente de trabalho e garantir a integração perfeita com as informações do *BIM* em tempo real. Essa evolução representa um passo significativo em direção a uma construção mais automatizada, precisa e eficiente [25][28][33].

A integração entre *BIM* e robótica na construção civil apresenta lacunas e oportunidades para otimizar processos e melhorar a eficiência. Uma das principais necessidades é o desenvolvimento de padrões abertos de *BIM* para facilitar a interoperabilidade e a utilização de gêmeos digitais, que podem integrar sistemas arquitetônicos, estruturais e mecânicos, otimizando o desempenho ao longo do ciclo de vida dos edifícios. Além disso, a incorporação de *IoT* e IA é fundamental para a coleta e análise de grandes volumes de dados, permitindo decisões mais informadas e eficientes [25][26].

Outro ponto crucial é a automação de tarefas específicas, como pintura de paredes internas, que ainda enfrenta limitações em termos de conversão de elementos e adaptação a formas complexas. A integração de tecnologias como 4D BIM pode ajudar a simular o progresso da construção e atualizar cronogramas automaticamente, aumentando a precisão e eficiência. A robustez e a capacidade de adaptação dos robôs em ambientes de construção não estruturados também precisam ser aprimoradas para expandir seu uso em diversas tarefas, incluindo demolição controlada e inspeção [28][29].

Por fim, a integração de tecnologias avançadas como AR e gêmeos digitais pode melhorar significativamente a segurança e eficiência no local de trabalho. A modelagem semântica automatizada e o uso de algoritmos de aprendizado profundo são áreas promissoras para melhorar o reconhecimento de objetos e a autonomia dos sistemas em diferentes contextos arquitetônicos. Essas inovações são essenciais para avançar na construção 4.0 e na produção de habitações pré-fabricadas, destacando a importância de pesquisas contínuas nesse campo [30, 31, 32, 33, 34].

CONCLUSÃO

A integração entre *BIM* e robótica é uma área de pesquisa crucial para melhorar a eficiência, qualidade e inovação na indústria da construção. Este estudo utilizou a RSL para explorar avanços, desafios e perspectivas futuras nesse campo. A plataforma *SCOPUS* foi utilizada para localizar estudos relevantes através de palavras-chave criteriosamente selecionadas, seguida por uma abordagem de revisão combinada que inclui análise quantitativa e qualitativa. As principais conclusões deste estudo são as seguintes:

Na análise quantitativa, foram examinadas a coocorrência de palavras-chave, os padrões de colaboração entre os autores e o número de citações dos artigos. Isso permitiu identificar tendências de pesquisa, colaboradores significativos e artigos de maior influência, além de destacar o principal periódico na área. Esses resultados enriquecem a compreensão do panorama de pesquisa e orientam outros pesquisadores, estabelecendo bases para investigações futuras e incentivando a inovação neste campo.

Na análise qualitativa, examinaram-se os artigos mais influentes para o levantamento dos desafios, avanços e perspectivas para elaboração do framework que os sintetiza. Os desafios incluem a necessidade de conhecimento técnico, a interoperabilidade e a complexidade do ambiente, pois tanto habilidades em robótica quanto em construção são essenciais para o desenvolvimento e implementação de sistemas robóticos adaptáveis, garantindo sua integração com as informações do *BIM*, em consideração à complexidade do ambiente de construção. A interconexão entre avanços impulsiona o campo a superar barreiras. As perspectivas destacam a importância da integração de tecnologias emergentes, como IoT, IA e CPS, para melhorar a produtividade e precisão na construção. A aplicação dessas tecnologias, junto com *BIM* e robótica avançada, sugere uma automação mais ampla no canteiro de obras, resultando em construções mais eficientes e precisas. Contudo, avançar da simulação para a execução real requer adaptação dos sistemas robóticos e integração com as informações do *BIM*. Essa análise identifica áreas para avanços na integração entre *BIM* e robótica na construção, fornecendo um guia para futuras pesquisas e contribuindo para a evolução contínua do campo.

Para futuras pesquisas, recomenda-se ampliar os bancos de dados utilizados e adotar métricas normalizadas de citações para uma avaliação mais precisa do impacto ao longo do tempo.

Em suma, este estudo fornece uma base sólida para futuras pesquisas na integração entre *BIM* e robótica na indústria da construção, contribuindo para o avanço do conhecimento e aprimoramento das práticas nessas áreas de conhecimento.

REFERÊNCIAS

[1] KANGARI, R.; HALPIN, D. W. Potential Robotics Utilization in Construction. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 115, n. 1, p. 126–143, mar. 1989. DOI: http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(1989)115:1(126).

[2] BOCK, T.; LINNER, T. **Construction Robots: Volume 3**. [s.l.] Cambridge University Press, 2016.

[3] DELGADO, J. M. D. *et al*. Robotics and automated systems in construction: Understanding industry-specific challenges for adoption. **Journal of Building Engineering**, v. 26, n. 1, p. 100868, nov. 2019. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jobe.2019.100868.

[4] WANG, X. *et al*. Automatic high-level motion sequencing methods for enabling multi-tasking construction robots. **Automation in Construction**, v. 155, p. 105071–105071, 1 nov. 2023. DOI: https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.105071.

[5] CAI, J. *et al*. Prediction-Based Path Planning for Safe and Efficient Human–Robot Collaboration in Construction via Deep Reinforcement Learning. **Journal of Computing in Civil Engineering**, v. 37, n. 1, 1 jan. 2023. DOI: https://doi.org/10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0001056.

[6] FENG, C. *et al*. Vision guided autonomous robotic assembly and as-built scanning on unstructured construction sites. **Automation in Construction**, v. 59, p. 128–138, nov. 2015. DOI: https://doi.org/10.1016/j.autcon.2015.06.002.

[7] LUNDEEN, K. M. *et al*. Scene understanding for adaptive manipulation in robotized construction work. **Automation in Construction**, v. 82, p. 16–30, out. 2017. DOI: https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.06.022.

[8] PAN, M. *et al*. Influencing factors of the future utilisation of construction robots for buildings: A Hong Kong perspective. **Journal of Building Engineering**, v. 30, p. 101220, jul. 2020. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.101220.

[9] LIANG, C.-J.; KAMAT, V. R.; MENASSA, C. C. Teaching robots to perform quasi-repetitive construction tasks through human demonstration. **Automation in Construction**, v. 120, p. 103370, dez. 2020. DOI: https://doi.org/10.1016/J.AUTCON.2020.103370.

[10] MICHALOS, G. *et al*. ROBO-PARTNER: Seamless Human-Robot Cooperation for Intelligent, Flexible and Safe Operations in the Assembly Factories of the Future. **Procedia CIRP**, v. 23, p. 71–76, 1 jan. 2014. DOI: https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.10.079.

[11] SHERWANI, F.; ASAD, M. M.; IBRAHIM, B. S. K. K. Collaborative Robots and Industrial Revolution 4.0 (IR 4.0). In: **International Conference on Emerging Trends in Smart Technologies (ICETST)**, 2020, Karachi, Pakistan. p. 1-5. DOI: https://doi.org/10.1109/ICETST49965.2020.9080724.

[12] SU, X. *et al*. Uncertainty-aware visualization and proximity monitoring in urban excavation: a geospatial augmented reality approach. **Visualization in Engineering**, v. 1, n. 1, p. 2, 2013. https://doi.org/10.1186/2213-7459-1-2.

[13] PINI, F.; LEALI, F.; MATTEO ANSALONI. A systematic approach to the engineering design of a HRC workcell for bio-medical product assembly. In: **IEEE 20th Conference on Emerging Technologies & Factory Automation (ETFA)**, 2015, Luxembourg, Luxembourg. pp. 1-8. DOI: 10.1109/ETFA.2015.7301655.

[14] CARRA, G. *et al*. Robotics in the Construction Industry: State of the Art and Future Opportunities. **Proceedings of the 35th International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC)**, 22 jul. 2018. DOI: https://doi.org/10.22260/ISARC2018/0121.

[15] BARBER, R. et al. Mobile Robot Navigation in Indoor Environments: Geometric, Topological, and Semantic Navigation. **Applications of Mobile Robots**, 20 mar. 2019. DOI: https://doi.org/10.5772/intechopen.79842.

[16] JOO, S.-H. *et al*. A Realtime Autonomous Robot Navigation Framework for Human like High-level Interaction and Task Planning in Global Dynamic Environment. **arXiv (Cornell University)**, 1 jan. 2019. DOI: https://doi.org/10.48550/arXiv.1905.12942.

[17] HARRIS, B. N.; ALVES, T. C. L. Building Information Modeling: A Report from the Field. In: **Proceedings of the 24th Annual Conference of the International Group for Lean Construction**, Boston, MA, USA, 2016, section 5, p. 13–22.

[18] CHENG, J. C. P.; LU, Q. A review of the efforts and roles of the public sector for BIM adoption worldwide. **Journal of Information Technology in Construction (ITcon)**, v. 20, n. 27, p. 442–478, 27 out. 2015.

[19] Autodesk. **Building Information Modeling**. ©2002. Disponível em: http://www.laiserin.com/features/bim/autodesk_bim.pdf. Acesso em: 16 abr. 2024.

[20] BYERS, G.; RAZAVIALAVI, S.; KIAVARZ, H. Review of the Applications of Building Information Modelling in Robotics. **Transforming Construction with Reality Capture Technologies**, 31 ago. 2022.

[21] GALVÃO, M.C.B.; RICARTE, I.L.M. Revisão Sistemática Da Literatura: Conceituação, Produção e Publicação. **Logeion: Filosofia da Informação**, Rio de Janeiro, RJ, v. 6, n. 1, p. 57–73, 2019.

[22] BÖRNER, K.; CHEN, C.; BOYACK, K. W. Visualizing knowledge domains. **Annual Review of Information Science and Technology**, v. 37, n. 1, p. 179–255, 31 jan. 2005.

[23] SU, H.-N.; LEE, P.-C. Mapping knowledge structure by keyword co-occurrence: a first look at journal papers in Technology Foresight. **Scientometrics**, v. 85, n. 1, p. 65–79, 22 jun. 2010.

[24] VEERAKUMAR RANGASAMY; JYH BIN YANG. The convergence of BIM, AI and IoT: Reshaping the future of prefabricated construction. **Journal of Building Engineering**, p. 108606–108606, 1 jan. 2024.

[25] HE, R. *et al*. BIM-enabled computerized design and digital fabrication of industrialized buildings: A case study. **Journal of Cleaner Production**, v. 278, p. 123505, jan. 2021. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123505.

[26] ASADI, K. *et al*. Real-Time Image Localization and Registration with BIM Using Perspective Alignment for Indoor Monitoring of Construction. **Journal of Computing in Civil Engineering**, v. 33, n. 5, p. 04019031, set. 2019. DOI: https://doi.org/10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000847.

[27] TAVARES, P. *et al*. Collaborative Welding System using BIM for Robotic Reprogramming and Spatial Augmented Reality. **Automation in Construction**, v. 106, p. 102825, out. 2019. DOI: https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.04.020.

[28] KIM, S. *et al*. Development of BIM-integrated construction robot task planning and simulation system. **Automation in Construction**, v. 127, p. 103720, jul. 2021. DOI: https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103720.

[29] LUNDEEN, K. M. *et al*. Autonomous motion planning and task execution in geometrically adaptive robotized construction work. **Automation in Construction**, v. 100, p. 24–45, abr. 2019. DOI: https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.12.020.

[30] HASAN, S. M. *et al*. Augmented reality and digital twin system for interaction with construction machinery. **Journal of Asian Architecture and Building Engineering**, p. 1–12, 21 fev. 2021. DOI: https://doi.org/10.1080/13467581.2020.1869557.

[31] ADÁN, A. *et al*. An autonomous robotic platform for automatic extraction of detailed semantic models of buildings. **Automation in Construction**, v. 109, p. 102963, jan. 2020. DOI: https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.102963.

[32] FOLLINI, C. *et al*. BIM-Integrated Collaborative Robotics for Application in Building Construction and Maintenance. **Robotics**, v. 10, n. 1, p. 2, 25 dez. 2020. DOI: https://doi.org/10.3390/robotics10010002.

[33] ZHU, A.; PAUWELS, P.; DE VRIES, B. Smart component-oriented method of construction robot coordination for prefabricated housing. **Automation in Construction**, v. 129, p. 103778, set. 2021. DOI: https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103778.

[34] MUHAMMAD, I. *et al*. Robot-Assisted Object Detection for Construction Automation: Data and Information-Driven Approach. v. 26, n. 6, p. 2845–2856, 1 dez. 2021. DOI: https://doi.org/10.1109/TMECH.2021.3100306.

[35] PAUL, J.; BARARI, M. Meta-analysis and Traditional Systematic Literature reviews—What, why, when, where, and how? **Psychology & Marketing**, v. 39, n. 6, p. 1099–1115, 11 mar. 2022.

[36] PATRICIA, A. *et al*. Automated on-site assembly of timber buildings on the example of a biomimetic shell. **Automation in construction**, v. 156, p. 105118–105118, 1 dez. 2023. DOI: https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.105118.