TECNOLOGIAS DE MONITORAMENTO REMOTO DE OBRAS ALIADOS AO PLANEJAMENTO E CONTROLE DE PRODUÇÃO DE OBRAS (PCP)

REMOTE MONITORING TECHNOLOGIES OF CONSTRUCTIONS ALLIED TO WORKS PRODUCTION PLANNING AND CONTROL (PCP)

Mirela Beatriz Santiago Padilha [1]; Ana Paula Campigoto [2]; Gustavo Gonçalves Tomkowski[3]; Adriana de Paula Lacerda Santos [4]; Maria do Carmo Duarte Freitas [5].

[1]Engenheira civil | mirela.beatriz.padilha@gmail.com | UFPR | Curitiba, Paraná; [2] Engenheira civil | anapaulcampigoto@gmail.com | UFPR | Curitiba, Paraná; [3] Engenheiro civil | gustavo.tomk@gmail.com | UFPR | Curitiba, Paraná; [4] Doutora | adrianapls1@gmail.com| UFPR | Curitiba, Paraná; [5] Doutora | carmemk2@gmail.com | UFPR | Curitiba, Paraná.

Resumo:
O monitoramento do progresso de construção desempenha um papel importante no Planejamento e Controle da Produção (PCP) de empreendimentos, sendo um fator decisivo para o sucesso de uma construção. Para que um edifício atenda aos requisitos de desempenho e qualidade previstos é essencial que os processos de concepção e produção sejam realizados com planejamento, controle e compartilhamento de informações. Esta pesquisa tem como objetivo relacionar as tecnologias disponíveis para aplicação no monitoramento remoto de obras. Para isto, o estudo realizou uma revisão integrativa sistemática com as principais publicações realizadas globalmente, a fim de identificar as tecnologias de monitoramento do progresso da construção disponíveis, suas funcionalidades e contribuições. Dessa forma, nota-se que combinar ferramentas e tecnologias digitais permite monitorar de forma precisa o progresso de um projeto, o que auxilia tanto no acompanhamento da execução quanto na identificação de problemas que possam surgir durante toda a vida útil do empreendimento. Além disso, o uso dessas tecnologias também contribui para a sustentabilidade na construção civil, ao possibilitar a redução de desperdícios, o uso mais eficiente de recursos e a mitigação de impactos ambientais.

Palavras-chave:
Monitoramento do progresso da construção; Building Information Modeling (BIM); Tecnologias da Informação (TIC); Planejamento e Controle da Produção (PCP); Sustentabilidade.

Abstract:
Construction progress monitoring plays an important role in the Production Planning and Control (PPC) of ventures, being a decisive factor for the success of a construction project. For a building to meet expected performance and quality requirements, it is essential that design and production processes are carried out with proper planning, control, and information sharing. This research aims to relate the technologies available for application in remote construction monitoring. For this purpose, the study conducted a systematic integrative review of the main publications worldwide in order to identify the available construction progress monitoring technologies, their functionalities, and contributions. In this way, it is evident that combining digital tools and technologies allows for accurate monitoring of a project's progress, which helps both in tracking execution and in identifying problems that may arise throughout the building's life cycle. Moreover, the use of these technologies also contributes to sustainability in the construction industry by enabling waste reduction, more efficient use of resources, and mitigation of environmental impacts.

Keywords:
Construction progress monitoring; Building Information Modeling (BIM); Information Technology (ICT); Production Planning and Control (PPC); Sustainability.

1. INTRODUÇÃO

O Planejamento e Controle de Produção (PCP) visa prever e controlar as atividades e o fluxo de informações envolvidos no ciclo de execução de uma obra. A utilização de ferramentas de monitoramento remoto nesta etapa permite ampliar o banco de dados relacionados à execução. Ao monitorar o progresso de um projeto de construção, os profissionais responsáveis podem identificar e resolver problemas antecipadamente, como atrasos ou problemas de qualidade, o que pode ajudar a melhorar a eficiência geral do processo de construção (Pal, *et al*, 2023).

Além disso, o monitoramento e controle de projetos permite que gerentes e responsáveis possam monitorar resultados planejados e alcançados, sendo possível tomar medidas corretivas, quando necessárias (Pellerin; Perrier, 2019).

Nos últimos anos, o uso de novas Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs) aumentou de forma gradual na indústria da construção civil, com o objetivo de otimizar processos, permitir o acesso a dados em tempo real e, consequentemente, aumentar a produtividade tanto em escritórios quanto em canteiros de obras. De acordo com o estudo de Kharrati *et al*. (2024), o mercado global de softwares para as áreas de Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC) foi avaliado em cerca de US$ 9,17 bilhões em 2023, com um crescimento projetado de aproximadamente 138% até 2032.

Para que empresas consigam atingir e atender mais clientes, dentro das expectativas do mercado, com novos produtos e serviços, a utilização das tecnologias de sistemas da informação é essencial, aumentando a competitividade e estabelecendo processos consolidados e automatizados. Um sistema da informação tem basicamente a capacidade técnica de coletar, armazenar e disseminar dados e informações relacionados a operações internas e ambientes de organizações, a fim de apoiar decisões e o controle da empresa (Laudon, 2023).

O monitoramento de múltiplos projetos requer informações valiosas sobre a situação atual, medidas corretivas e uma comunicação entre a equipe envolvida no projeto (Maham *et al*., 2019). No entanto, os métodos convencionais de monitoramento do progresso geralmente dependem da coleta manual de dados, o que pode ser demorado e propenso a erros (Braun *et al.,* 2020). Nesse contexto, a utilização de câmeras se destaca por fornecer imagens das atividades no local de trabalho, facilitando o controle e incentivando a comunicação.

Além disso, algumas das tendências presentes nas publicações atuais da área de monitoramento e controle englobam tecnologias e ferramentas associadas ao uso de inteligência artificial (IA). Neste contexto, é possível se apoiar em conceitos como aprendizado de máquina interpretável e em como este tipo de tecnologia é capaz de facilitar os gerentes de projetos a tomarem decisões sobre o andamento e controle de determinado projeto (Santos *et al*., 2023). Na mesma linha, Faghihi *et al.* (2015) apresentam em sua pesquisa grande potencial na padronização e automação de fluxos nas etapas de planejamento e execução e, demonstrando que a ausência de ferramentas digitais e da digitalização dos processos dificulta a obtenção de qualidade e a melhoria contínua. Diante deste cenário, o objetivo desta pesquisa é relacionar as principais tecnologias aplicadas no monitoramento de obras, com base na revisão integrativa sistemática apresentada a seguir.

2. MÉTODO

Este estudo aborda as tecnologias aplicadas no monitoramento remoto de obras utilizando com base na revisão de literatura integrativa sistemática, visando explorar e reunir o conhecimento já

produzido sobre tais tecnologias, que auxiliam no Planejamento e Controle de Produção (PCP) de obras. A revisão foi realizada com base na proposta de Souza *et al*. (2010), em que a primeira e mais importante etapa trata-se da determinação da pergunta norteadora da pesquisa. Neste estudo, pretende-se responder o seguinte questionamento: “Quais são as tecnologias de monitoramento remoto utilizadas na construção civil para auxílio do Planejamento e Controle de Produção (PCP)?”.

Para responder a esse questionamento, aplicou-se uma busca de dados na base eletrônica *Science Direct*. A pesquisa limitou-se ao período de nove anos (janeiro de 2015 a junho de 2024), e incluiu artigos de revisão e artigos de pesquisa na área temática ‘Engenharia’. A *string* de busca definida foi "*CONSTRUCTION PROGRESS MONITORING (CPM)" and* "*PLANNING AND CONTROL*" nos

idiomas português e inglês. Dentro destes parâmetros, foram encontrados 43 artigos, com o auxílio da plataforma *Rayynan* para gestão de arquivos. Após a leitura de títulos e resumos 31 artigos foram excluídos, resultando na leitura completa de 12 artigos na íntegra.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nessa seção sugere-se uma análise descritiva e discussão dos principais resultados, apresentando fatores contribuintes e implicações do que foi encontrado.

3.1. REVISÃO INTEGRATIVA SISTEMÁTICA

O software *Rayyan* possibilitou a leitura e seleção dos artigos revisados após busca no periódico. As análises foram divididas em quantitativas e quantitativas, sendo elas: (1) Países que publicaram sobre o tema; (2) Ano de publicação dos artigos; (3) Periódicos publicadores; (4) Lista de TIC's usadas para o monitoramento remoto e sua relação com o BIM; (5) Resultados obtidos através das pesquisadas selecionadas, para análise qualitativa.

3.2. ANÁLISE QUANTITATIVA

O Quadro 1 abaixo apresenta os dados bibliométricos da pesquisa, incluindo o título da publicação, autores, ano de publicação e periódico.

Título	Autor	Ano	Periódico
Automated progress monitoring system for linear infrastructure projects using satellite remote sensing	BEHNAM, Ali *et al.*	2016	Automation in Construction
Automated scheduling and control of mechanical and electrical works with BIM	ISAAC, Shabtai; SHIMANOVICH, Maxim	2021	Automation in Construction
Automated vision-based construction progress monitoring in built environment through digital twin	PAL, Aritra *et al.*	2023	Developments in the Built Environment
Autonomous production tracking for augmenting output in off-site construction	ARASHPOUR, Mehrdad *et al.*	2015	Automation in Construction
BIM-augmented reality integrated approach to risk management	ALIREZAEI, Sahar *et al.*	2022	Automation in Construction
BIM-based 4D mobile crane simulation and onsite operation management	TAK, Ala Nekouvaght *et al.*	2021	Automation in Construction

Comparing Point-to-point Precedence Relations and Location-based Management System in Last Planner System: A Housing Project of Highly Repetitive Processes Case Study	BRIOSO, Xavier; HUMERO, Antonio; CALAMPA, Sarah	2016	Procedia Engineering
Explainable machine learning for project management control	SANTOS, José Ignácio *et al*.	2023	Computers & Industrial Engineering
Holonic execution system for real- time construction management.	NATICCHIA, B. *et al*.	2019	Automation in Construction
Integrating BIM with Lean Construction approach: Functional requirements and production management software.	SCHIMANSKI, Christoph Paul *et al.*	2021	Automation in Construction
Monitoring and controlling engineering projects with blockchain-based critical chain project management.	BAHNAS, Nermeen *et al.*	2024	Automation in Construction
Moving toward lean construction through automation of planning and control in last planner system: A systematic literature review	BAHNAS, Nermeen *et al.*	2024	Developments in the Built Environment

Quadro 1: Relação de artigos da revisão por ano e periódico.
Fonte: Autores (2024).

Com relação ao ano de publicação dos artigos analisados, utilizou-se como critério o limite de publicações entre janeiro de 2015 e junho de 2024. É possível identificar que o ano com maior quantidade de publicações foi o de 2021 com três títulos. Seguem-se os anos de 2016, 2023 e 2024 com dois títulos cada e, 2015, 2019 e 2021 com um título publicado cada.

Com relação às revistas em que foram publicados os artigos desta revisão, dos 12 artigos selecionados, 8 foram publicados na revista *Automation in Construction,* representando 66,67% das publicações. Em seguida, a revista *Developments in the Built Environment* publicou dois títulos, correspondendo a 16,67% das publicações realizadas. Os artigos restantes foram postados nas *revistas Procedia Engineering e Computers & Industrial Engineering*.

As publicações analisadas nesta revisão abrangem um total de nove países, localizados em diferentes continentes, demonstrando a abrangência global e o interesse pelo tema. Destaca-se que a Itália e os Estados Unidos contribuíram com mais de uma publicação cada no período avaliado. A Figura 1 abaixo, apresenta a distribuição da localização das pesquisas.

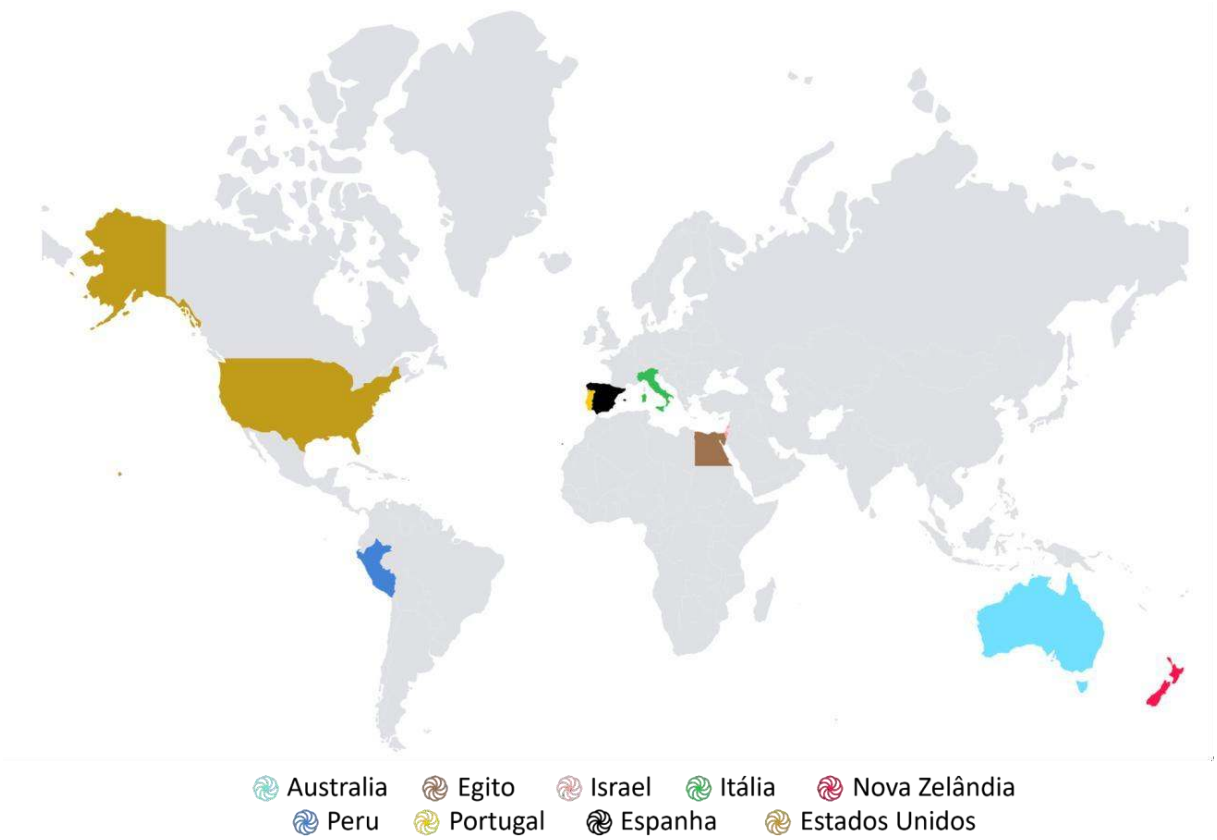

Figura 1: Localização das pesquisas.
Fonte: Autores (2024).

3.3. ANÁLISE QUALITATIVA

O Quadro 2 abaixo, destaca como os estudos integram a Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC) com o monitoramento remoto, atrelados ao *Building Information Modeling (BIM)* para gerenciar projetos remotamente.

Autor	Utiliza TIC?	Utiliza BIM?	TIC utilizada
ALIREZAEI, Sahar *et al.* (2021)	SIM	SIM	AR Augmented Reality e Realidade aumentada
ARASHPOUR, Mehrdad *et al.*(2024)	SIM	NÃO	Ultra-wideband (UWB)
BAHNAS, Nermeen *et al.* (2016)	SIM	SIM	Blockchain associada ao BIM 4D
BAHNAS, Nermeen *et al.* (2024)	SIM	SIM	Técnicas de modelagem de conhecimento e técnicas de IA, como PNL e aprendizagem profunda.
BEHNAM, Ali *et al.* (2019)	SIM	SIM	Satélites
BRIOSO, Xavier; HUMERO, Antonio; CALAMPA, Sarah. (2022)	NÃO	NÃO	Não cita

ISAAC, Shabtai; SHIMANOVICH, Maxim. (2021)	SIM	SIM	Tecnologia de rastreamento automatizado por radiofrequência e algoritmo de otimização
NATICCHIA, B. *et al.* (2023)	SIM	SIM	Prosa e MatLab
PAL, Aritra *et al.* 2021)	SIM	SIM	Digital Twin Construction (DTC) com uso de IA
SANTOS, José Ignácio *et al.* (2015)	SIM	NÃO	Monte Carlo
SCHIMANSKI, Christoph Paul *et al.* (2016)	SIM	SIM	BIMServer; Estrutura de Dados IFC e Estrutura de Dados IFC
TAK, Ala Nekouvaght *et al.* (2023)	SIM	SIM	Navisworks

Quadro 2: Integração de TIC e BIM no monitoramento remoto progresso da construção.
Fonte: Autores (2024).

Conforme apresentado no Quadro 2 acima, os estudos analisados demonstram a integração de Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs) com o monitoramento remoto, muitas vezes atrelados ao *Building Information Modeling* (BIM), para a gestão de projetos. Os autores Alirezaeli *et al.* (2021), por exemplo. utilizam a tecnologia de Realidade Aumentada (AR) e a IA (Inteligência artificial) para permitir o monitoramento de obras em tempo real por meio de imagens do canteiro. Em outro estudo, Arashpou *et al*. (2024) empregam a Banda Ultralarga (UWB), uma tecnologia que facilita o posicionamento preciso de objetos em ambientes de construção.

Ainda no contexto da integração, Bahnas *et al.* (2016) aplicam o Blockchain integrada ao BIM 4D para garantir a segurança e a rastreabilidade dos dados durante todo o ciclo de vida do projeto, associando técnicas de IA para análise de dados e previsão de erros. Behnam *et al.* (2019), por outro lado, focam na coleta de dados das obras via satélites, fornecendo imagens e informações geográficas para monitorar grandes canteiros de obras. Os autores Isaac e Shimanovich (2021), utilizam tecnologias de rastreamento automatizado para otimizar o controle da produção.

O Quadro 3 abaixo, apresenta a metodologia escolhida por cada autor e os resultados obtidos em cada pesquisa. As publicações que não constavam de maneira clara a metodologia aplicada de forma explícita, foram deduzidas pelos autores após a leitura dos artigos.

Título	Metodologia aplicada	Resultados
Automated progress monitoring system for linear infrastructure projects using satellite remote sensing	Design Science Research	Positivo
Automated scheduling and control of mechanical and electrical works with BIM	Estudo de caso e Design Science Research	Positivo
Automated vision-based construction progress monitoring in built environment through digital twin	Revisão bibliográfica	Positivo
Autonomous production tracking for augmenting output in off-site construction	Design Science Research	Positivo
BIM-augmented reality integrated approach to risk management	Design Science Research	Positivo
BIM-based 4D mobile crane simulation and onsite operation management	Estudo de caso	Positivo
Comparing Point-to-point Precedence Relations and Location-based Management System in Last Planner	Estudo de caso	Positivo

System: A Housing Project of Highly Repetitive Processes Case Study		
Explainable machine learning for project management control	Estudo de caso	Positivo
Holonic execution system for real-time construction management	Estudo de caso	Positivo
Integrating BIM with Lean Construction approach: Functional requirements and production management software	Design Science Research	Positivo
Monitoring and controlling engineering projects with blockchain-based critical chain project management	Design Science Research	Positivo
Moving toward lean construction through automation of planning and control in last planner system: A systematic literature review	RSL	Positivo

Quadro 3: Relação de artigos da revisão relacionados com metodologia e resultados obtidos Fonte: Autores (2024).

Os estudos analisados evidenciam a predominância de metodologias de *Design Science Research* e Estudo de caso, ambos com 5 artigos de cada, totalizando 41,67% das publicações. Além disso, foi identificado um artigo de Revisão Bibliográfica e um de Revisão Sistemática da Literatura. Em relação aos resultados obtidos, todos os estudos apresentaram resultados positivos, sendo classificados como eficientes ou tendendo ao positivismo. Dessa forma, nota-se como as Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC) promovem melhorias significativas na gestão de projetos, controle de produção, detecção precoce de problemas e redução de desperdícios e retrabalhos durante o ciclo de vida do empreendimento. Tais resultados destacam a eficiência das soluções automatizadas e integradas, promovendo um avanço na eficiência e na qualidade do monitoramento do progresso de construção.

4. BARREIRAS E LIMITAÇÕES

Apesar dos resultados positivos, é relevante analisar as barreiras e as limitações relacionadas à implementação de tecnologias da informação aliadas ao monitoramento remoto no setor da construção civil. Uma das principais barreiras identificadas está relacionada aos custos de implantação. Utilizar tecnologias como Realidade Aumentada (Alirezaei *et al*., 2021), Blockchain (Bahnas *et al.,* 2016), Inteligência Artificial (Bahnas *et al*., 2024) e *Digital Twin* (Pal *et al.,* 2021) demandam investimentos elevados em equipamentos, softwares especializados e capacitação da equipe técnica. Além disso, a associação de tais tecnologias com o BIM (*Building Information Modeling*), apesar de eficiente, limita-se devido à falta de interoperabilidade entre os diferentes *softwares*, aumentando a dificuldade técnica e limitando a implementação.

O uso de ferramentas de monitoramento aliados a outros sistemas e ferramentas tecnológicas, exige uma infraestrutura adequada. A utilização de satélites, por exemplo, está condicionada a boas condições climáticas e a uma cobertura contínua garantir a precisão, além do alto custo de implantação e uso. Outro fator a ser considerado é o impacto da implantação de novas tecnologias na cultura e nos processos organizacionais. A implementação de tais ferramentas requer a revisão de processos e metodologias, o que pode impactar nos processos e nas pessoas, causando resistência e dificuldades na implantação.

5. CONCLUSÕES

Este estudo buscou, com base na revisão da leitura, responder à pergunta norteadora proposta e identificar as TIC'S utilizadas como ferramentas para o monitoramento remoto de obras e o auxílio no Planejamento e Controle de Produção (PCP). A pesquisa evidenciou a importância da combinação de ferramentas e tecnologias digitais para monitorar com precisão o avanço dos empreendimentos, facilitando a identificação e resolução antecipada de problemas, o que contribui para a melhoria da eficiência e qualidade do processo construtivo.

Na revisão integrativa sistemática, doze publicações foram selecionadas e analisadas, sendo todas relacionadas à temática. As ferramentas de TIC foram identificadas e listadas, e todas as pesquisas apresentadas obtiveram resultados positivos com o uso de tais tecnologias, destacando-se o uso de BIM (*Building Information Modeling*), IA (Inteligência Artificial), Blockchain e outras Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC). Os autores Alirezaei *et al.* (2021) e Pal *et al*. (2021) aplicaram respectivamente, a Realidade Aumentada e os modelos de *Digital Twin* e obtiveram resultados que ampliam a capacidade de acompanhamento visual e analítico de obras em tempo real, o que auxilia na tomada de decisão, segurança do trabalho e o detalhamento no monitoramento e controle de obras. As TIC'S estão cada vez mais presentes no setor da construção, e sua utilização facilita a identificação e resolução rápida de problemas, além de melhorar a eficiência operacional nos canteiros de obras.

Os estudos desenvolvidos apontam que tais ferramentas contribuem significativamente para o monitoramento remoto de obras, ao possibilitarem um controle mais preciso sobre recursos, otimização de processos e redução de retrabalhos e desperdícios, além de favorecerem práticas mais conscientes e sustentáveis.

Por outro lado, embora os estudos demonstrem os benefícios, o custo elevado de implantação e operação é uma das principais barreiras e limitações à implementação de tais tecnologias. Soluções como IA, *Blockchain*, *Digital Twin*, requerem investimentos elevados em *softwares*, treinamentos e equipamentos, o que dificulta a disseminação na aplicação de ferramentas de tecnologias de monitoramento na indústria da construção. Além disso, a infraestrutura limitada dos canteiros reduz o alcance de tecnologias que dependem de conectividade contínua, por exemplo.

Com a crescente demanda por obras que considerem impactos sociais, econômicos e ambientais, nos próximos anos, o uso integrado de TICs deixará de ser um diferencial competitivo, para se tornar uma exigência básica de mercado, promovendo maior eficiência, redução de desperdícios e obras mais alinhadas com os princípios de construção sustentável e inteligente. Desta forma, ao integrar inovação com responsabilidade ambiental, essas tecnologias impulsionam uma transformação positiva no setor, alinhando os processos construtivos aos princípios da sustentabilidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGRAWAL, K. A.; ZOU, Y.; CHEN, L.; ABDELMEGID, A. M.; GONZÁLEZ, J. Moving toward leanconstruction through automation of planning and control in last planner system: a systematic literature review. **Developments in the Built Environment,** 2024. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.dibe.2024.100419. Acesso em: 5 jun. 2024.

ALIREZAEI, S. et al. BIM-augmented reality integrated approach to risk management. **Automation in Construction**, v. 141, p. 104458, 2022.

ARASHPOUR, M. et al. Autonomous production tracking for augmenting output in off-site construction. **Automation in Construction**, v. 53, p. 13–21, 2015.

PAL, A.; LIN, J.; HUANG, S.-H.; FARD, G. M. **Automated vision-based construction progress monitoring in built environment through digital twin**, 2023. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/374780415_Automated_visionbased_construction_progress_monitoring_in_built_environment_through_digital_twin. Acesso em: 5 jun. 2024.

BAHNAS, N.; ADEL, K.; KHALLAF, R.; ELHAKEEM, A. Monitoring and controlling engineering projects with blockchain-based critical chain project management. **Automation in Construction**, 2024. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2024.105484. Acesso em: 5 jun. 2024.

BEHNAM, A.; WICKRAMASINGHE, D. C.; GHAFFAR, M. A. A.; VU, T.; TANG, Y.; ISA, H. B. M. Automated progress monitoring system for linear infrastructure projects using satellite remote sensing. **Automation in Construction**, v. 68, p. 114–127, 2016. DOI: https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.05.002.

BRAUN, A.; TUTTAS, S.; BORRMANN, A.; STILLA, U. Improving progress monitoring by fusing point clouds, semantic data and computer vision. **Automation in Construction**, v. 116, 2020.

KHARRATI, K.; et al. Global Architecture, Engineering and Construction (AEC) software market size was valued at US$ 9,17 Billion in 2023 with projected growth of approx. 138 % until 2032. **Custom Market Insights**, 2024. Disponível em: https://www.custommarketinsights.com/report/aec-software- market/. Acesso em: 5 jun. 2024.

BRIOSO, X.; HUMERO, A.; CALAMPA, S. Comparing point-to-point precedence relations and location-based management system in last planner system: a housing project of highly repetitive processes case study. **Procedia Engineering**, v. 164, p. 12–19, 2016.

ISAAC, S.; SHIMANOVICH, M. Automated scheduling and control of mechanical and electrical works with BIM. **Automation in Construction**, v. 124, p. 103600, 2021.

LAUDON, K. C. **Sistemas de informação gerenciais: administrando a empresa digital**. 17. ed. São Paulo: Pearson; Porto Alegre: Bookman, 2023. Cap. 1 e 2.

MAHAMI, H.; NASIRZADEH, F.; AHMADABADIAN, A. H.; NAHAVANDI, S. Automated progress controlling and monitoring using daily site images and building information modelling. **Buildings**, 2019.

NATICCHIA, B. et al. Holonic execution system for real-time construction management. **Automation in Construction**, v. 104, p. 179–196, 2019.

ONO, R.; ORNSTEIN, S. W.; VILLA, S. B.; FRANÇA, A. J. G. L. **Avaliação pós-ocupação:** na arquitetura, no urbanismo e no design – da teoria à prática. São Paulo: Oficina de Textos, 2018.

PAJARES, J.; LOPEZ-PAREDES, A. An extension of the EVM analysis for project monitoring: the Cost Control Index and the Schedule Control Index. **International Journal of Project Management**, v. 29, n. 5, p. 615–621, 2011.

SANTOS, J. I. et al. Explainable machine learning for project management control. **Computers & Industrial Engineering,** v. 180, p. 109261, 2023.

PELLERIN, R.; PERRIER, N. A review of methods, techniques and tools for project planning and control. **International Journal of Production Research**, 2019.

SCHIMANSKI, C. P. et al. Integrating BIM with Lean Construction approach: functional requirements and production management software. **Automation in Construction**, v. 132, p. 103969, 2021.

SOUZA, M. T. D.; SILVA, M. D. D.; CARVALHO, R. D. Revisão integrativa: o que é e como fazer. **Einstein (São Paulo),** v. 8, p. 102–106, 2010.

TAK, A. N. et al. BIM-based 4D mobile crane simulation and onsite operation management. **Automation in Construction**, v. 128, p. 103766, 2021.

FAGHIHI, V.; NEJAT, A.; REINSCHMIDT, K. F.; KANG, J. H. Automation in construction scheduling: a review of the literature. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 81, n. 9–12, 2015.

AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de agradecer à Universidade Federal do Paraná (UFPR), ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro.