# Digitalização BIM do ambiente construído com softwares livres: um estudo de caso exploratório com WebODM, CloudCompare e Bonsai

## BIM Digitalization of the Built Environment Using Open-Source Software: An Exploratory Case Study with WebODM, CloudCompare, and Bonsai

**Pedro Afonso Ventura Padre**
UFPB | João Pessoa | Brasil | pedro.ventura@academico.ufpb.br
**José Anselmo da Silva Neto**
UFPB | João Pessoa | Brasil | neto.anselmo00@gmail.com
**Rafael Lopes Mendonça**
UFPB | João Pessoa | Brasil | rafael.mendonca@academico.ufpb.br
**Cibelle Guimarães Silva Severo**
UFPB | João Pessoa | Brasil | cibelleguimaraes@yahoo.com.br
**Luara Lopes de Araujo Fernandes**
UFPB | João Pessoa | Brasil | luara.fernandes@gmail.com

### Resumo

A digitalização do ambiente construído por meio do processo Scan-to-BIM enfrenta desafios relacionados ao alto custo de softwares proprietários, limitando sua disseminação. Além disso, a literatura concentra-se em soluções comerciais, com pouca investigação sobre fluxos baseados em softwares livres, evidenciando lacunas práticas e teóricas. Nesse sentido, este estudo visa analisar preliminarmente a aplicação de um fluxo de trabalho baseado exclusivamente em softwares livres para a modelagem BIM da superfície externa de uma edificação cilíndrica. O fluxo de trabalho envolveu captura fotogramétrica com VANT, processamento das imagens no WebODM, tratamento da nuvem de pontos no CloudCompare e modelagem no Bonsai. Os resultados demonstram a viabilidade técnica do fluxo proposto para a geração de modelos BIM em formato IFC por meio de softwares livres. Entretanto, limitações no processo de aquisição e processamento reduziram o detalhamento da nuvem de pontos, exigindo ajustes e correções durante a modelagem. Ademais, observou-se que o Bonsai apresenta uma curva de aprendizagem íngreme no que se refere ao processo de modelagem BIM. Ainda assim, foi possível obter uma representação digital da edificação, embora com limitações no detalhamento e na fidelidade geométrica, evidenciando o potencial de soluções gratuitas e de código aberto para aplicações Scan-to-BIM.

**Palavras-chave:** Digitalização. Ambiente construído. Scan-to-BIM. Fotogrametria. Softwares livres.

### Abstract

*The digitalization of the built environment through the Scan-to-BIM process faces challenges related to the high cost of proprietary software, limiting its widespread adoption. Furthermore, the*

Como citar:

**PADRE et al** Digitalização BIM do ambiente construído com softwares livres: um estudo de caso exploratório com WebODM, CloudCompare e Bonsa. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 21, 2026, Goiânia. Anais... Goiânia: ANTAC, 2026.

*literature is predominantly focused on commercial solutions, with limited investigation into workflows based on free and open-source software, revealing a technical and academic gap. Therefore, this study aims to preliminarily analyze the application of a workflow based exclusively on open-source software for BIM modeling of the external surface of a cylindrical building. The workflow involved UAV-based photogrammetric data acquisition, image processing using WebODM, point cloud processing and refinement in CloudCompare, and BIM modeling in Bonsai. The results demonstrate the technical feasibility of the proposed workflow for generating BIM models in IFC format using open-source software. In addition, Bonsai was found to present a steep learning curve regarding the BIM modeling process. Nevertheless, it was possible to obtain a digital representation of the building, although with limitations in geometric detail and fidelity, highlighting the potential of free and open-source solutions for Scan-to-BIM applications.*

***Keywords:*** *Digitalization. Built environment. Scan-to-BIM. Photogrammetry. Free software.*

## INTRODUÇÃO

A digitalização do ambiente construído tem assumido papel estratégico na modernização da indústria da construção, especialmente diante da necessidade de maior produtividade, rastreabilidade de informações e gestão eficiente ao longo do ciclo de vida das edificações [1]. Nesse contexto, a Modelagem da Informação da Construção (BIM) consolidou-se internacionalmente como uma abordagem capaz de integrar dados geométricos, funcionais e operacionais em modelos digitais inteligentes, favorecendo processos colaborativos desde a concepção até a operação e manutenção dos ativos [2]. Paralelamente, o avanço das tecnologias de captura da realidade ampliou as possibilidades de atualização de modelos *as-built* com maior precisão e rapidez [1-2].

Entre esses avanços, destacam-se a fotogrametria digital baseada em imagens e o escaneamento a laser terrestre, amplamente empregados na aquisição de dados tridimensionais do ambiente construído [3]. Ambas as técnicas permitem a geração de nuvens de pontos, que consistem em conjuntos de pontos definidos por coordenadas espaciais (x, y e z) e, eventualmente, por atributos adicionais, como intensidade e cor RGB, representando as características geométricas do ambiente levantado [4]. A fotogrametria possibilita a geração desse tipo de representação tridimensional a partir de fotografias digitais, apresentando como vantagem o menor custo em relação ao escaneamento a laser 3D [4, 5, 6]. A representação completa de uma edificação pode ser obtida pela fusão e processamento de múltiplas nuvens de pontos, integradas em um sistema comum de coordenadas, o que permite capturar a geometria do ambiente de forma abrangente [7].

O uso de nuvens de pontos para extração de informações do ambiente construído tem se consolidado em atividades de construção, reabilitação, manutenção e preservação patrimonial [8]. Nesse contexto, tais dados podem servir de base para a abordagem Scan-to-BIM, na qual informações do ambiente físico são convertidas em modelos BIM destinados a aplicações de projeto, inspeção, retrofit e gestão patrimonial [9]. Entretanto, a ampla adoção desta abordagem ainda enfrenta barreiras significativas, sobretudo em países em desenvolvimento [10]. Entre os principais entraves estão os elevados custos de licenciamento de software proprietário, a necessidade de hardware robusto e a disseminação limitada de metodologias acessíveis a pequenas empresas, instituições públicas e universidades [11]. Ademais, parte significativa da literatura concentra-se em soluções comerciais, com menor aprofundamento científico sobre fluxos de trabalho

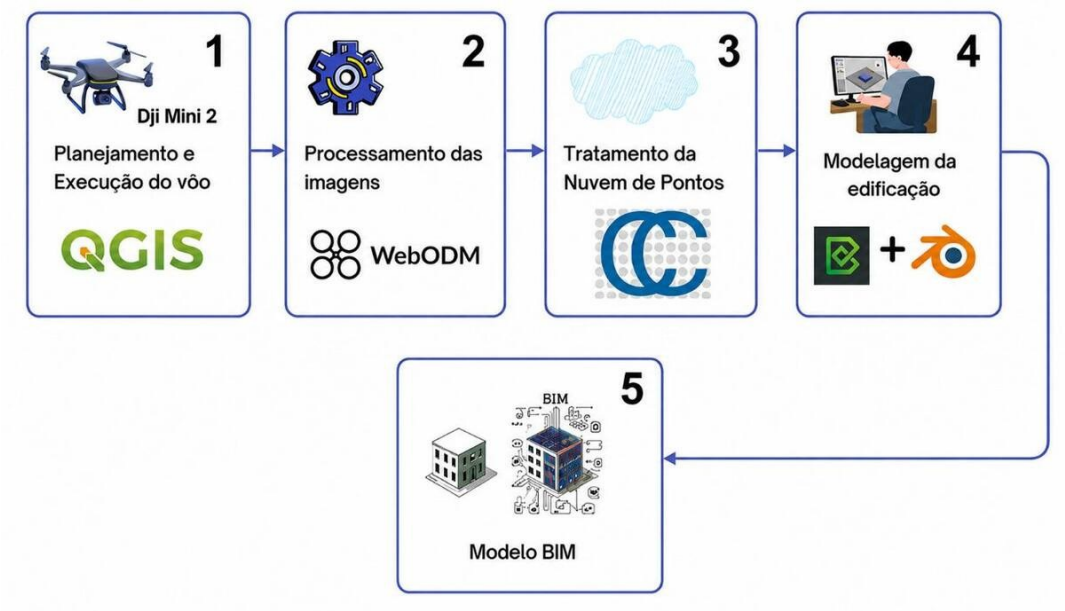
baseados integralmente em softwares livres. Assim, apesar do potencial dessas ferramentas, ainda são escassos os estudos sobre sua aplicação integrada à digitalização do ambiente construído. Esse cenário evidencia uma lacuna no conhecimento, permanecendo limitada a investigação sobre a aplicação integrada de softwares livres em processos Scan-to-BIM [12].

Diante dessa lacuna, este estudo visa responder à seguinte questão de pesquisa: como pode ser aplicado um fluxo de trabalho Scan-to-BIM utilizando softwares livres? Nesse sentido, o objetivo deste estudo é analisar preliminarmente a aplicação de um fluxo de trabalho baseado exclusivamente em softwares livres para a modelagem BIM da superfície externa de uma edificação cilíndrica. Este trabalho apresenta os resultados iniciais de um projeto de iniciação tecnológica em andamento no Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba.

## MÉTODO DE PESQUISA

A estratégia de pesquisa adotada como base para o desenvolvimento do estudo foi o estudo de caso exploratório, que permite uma investigação aprofundada, preservando as características holísticas e significativas de eventos da vida real, conforme destacado por Yin [13]. O fluxo de trabalho contemplou o planejamento e execução de voo Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT), processamento fotogramétrico das imagens, tratamento da nuvem de pontos e modelagem BIM, conforme a Figura 1.

**Figura 1: Fluxo de trabalho proposto**




**Fonte:** Os autores (2026).

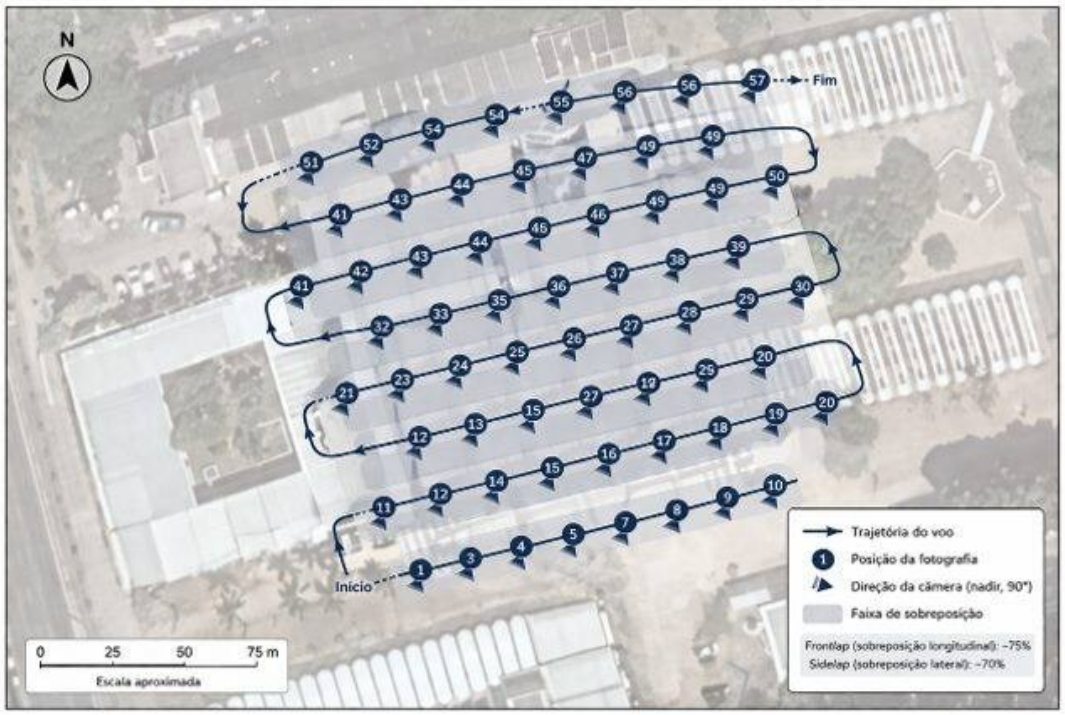
Na primeira etapa do estudo, realizou-se a aquisição de dados no Bloco Multimídia do Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba, popularmente conhecido como “Bolo de Noiva”, por meio da captura de imagens aéreas com um VANT do modelo DJI Mini 2. O planejamento do voo foi definido com base na análise prévia da edificação, considerando a estratégia de cobertura da área, a altitude de voo, a sobreposição entre

as imagens e as condições climáticas. Adotou-se uma altitude de 30 m para favorecer a qualidade das imagens e o detalhamento da nuvem de pontos. O software QGIS [14] foi utilizado como ferramenta de apoio nesta etapa.

Devido à limitada autonomia da bateria do equipamento, foram necessários dois voos para a aquisição completa das imagens, totalizando 358 fotografias. O plano de voo automatizado foi executado com inclinações de 45° e 90° (Figura 2), visando obter imagens adequadas ao processo de captura fotogramétrica. Cada voo teve duração aproximada de 10 minutos.

Os voos foram realizados no dia 13 de fevereiro de 2026. Ressalta-se que a coleta de dados estava inicialmente prevista para o dia 12 de fevereiro. Entretanto, a atividade precisou ser adiada em razão das condições climáticas desfavoráveis, caracterizadas pela ocorrência de chuva e de ventos fortes na data programada.

**Figura 2: Plano de voo do VANT com distribuição das posições de captura para fotogrametria.**




**Fonte:** Os autores (2026).

As imagens foram processadas no WebODM [15], adotando-se o modo *Buildings* por proporcionar maior detalhamento da nuvem de pontos. Posteriormente, foram realizados ajustes para otimizar a qualidade do modelo. Por fim, a nuvem de pontos foi convertida para formato compatível com o ambiente BIM no Blender [16], Bonsai [17], permitindo a continuidade da modelagem e análise.

Para o georreferenciamento do modelo, foram utilizados quatro pontos de controle, cujas coordenadas foram previamente inseridas no QGIS [14] e integradas ao WebODM [15] por meio de um script em Python. Para o referenciamento, foram selecionadas dez imagens de cada um dos voos (45° e 90°), totalizando vinte fotografias, nas quais foram identificados pelo menos quatro pontos de controle por imagem. A identificação dos pontos foi facilitada pela utilização de um painel quadriculado durante a aquisição das imagens, o que contribuiu para maior precisão no alinhamento espacial dos dados.

Com a execução satisfatória das etapas anteriores, procedeu-se à fase final do estudo, que consistiu na modelagem da edificação de estrutura cilíndrica a partir da nuvem de pontos. Nessa etapa, foram realizadas correções de falhas presentes na nuvem, relacionadas à ausência de dados em determinadas regiões, resultado principalmente de oclusões durante o processo de aquisição e reconstrução fotogramétrica, gerando "vazios" na representação tridimensional. A partir dessas correções e dos ajustes necessários ao longo do processo de modelagem, foi possível obter, como resultado final, um modelo BIM, modelado em IFC (*Industry Foundation Classes*). A sobreposição planejada das imagens foi de 80% frontal e 70% lateral. Embora a nuvem de pontos tenha sido gerada satisfatoriamente, a presença dessas lacunas evidenciou limitações no detalhamento, associadas às restrições do plano de voo automático. Após essa etapa, foram adicionados elementos de iluminação e realizadas as caracterizações dos materiais empregados na modelagem, visando proporcionar maior detalhamento e fidelidade visual ao modelo final. O processamento dos dados foi realizado em um computador com sistema operacional Windows 11, equipado com processador AMD Ryzen 5 5500U de seis núcleos, frequência máxima de 3,5 GHz e 16 GB de memória RAM operando a 3200 MHz.

A viabilidade técnica do fluxo foi avaliada por meio da verificação da execução completa das etapas do processo Scan-to-BIM com softwares livres, desde a geração da nuvem de pontos até a modelagem BIM final. A avaliação considerou os seguintes critérios: (a) a capacidade de geração da nuvem de pontos a partir das imagens, (b) a interoperabilidade entre os softwares utilizados no fluxo e (c) a obtenção bem-sucedida do modelo BIM no formato IFC (Industry Foundation Classes), sem perda de informações essenciais durante as etapas de processamento. Adicionalmente, foi observada a demanda computacional do processo, com base no tempo de processamento e na resposta do sistema durante a execução das etapas. Nesse sentido, considera-se que a abordagem empregada apresentou desempenho razoável no hardware disponível, embora o processamento do WebODM [15] tenha excedido a capacidade computacional da máquina.

## RESULTADOS

A Figura 3 apresenta a nuvem de pontos gerada a partir do processamento das imagens coletadas com o VANT. O processamento das 358 imagens resultou em uma nuvem de aproximadamente 27 milhões de pontos, posteriormente reduzida para 5,6 milhões após o tratamento no CloudCompare [18], valor considerado suficiente para a modelagem BIM [17]. A geração da nuvem de pontos demandou entre quatro e cinco horas, evidenciando a viabilidade do fluxo mesmo em hardware intermediário.

**Figura 3: Nuvem de pontos do modelo processada no software WEBODM.**



**Fonte:** Os autores (2026).

O modelo fotogramétrico apresentou nível de detalhamento intermediário devido às limitações do plano de voo automático e às oclusões causadas por árvores e edificações no entorno, o que comprometeu a representação de alguns detalhes geométricos. Ainda assim, a nuvem de pontos pôde ser exportada no formato .ply e utilizada nas etapas de modelagem no Blender [16].

Para a importação dos dados, a segmentação da nuvem de pontos mostrou-se essencial para reduzir o volume de informações processadas no Bonsai [17], extensão do Blender voltada à modelagem BIM. A nuvem de pontos original gerou um arquivo de aproximadamente 1,3 GB, o qual, embora aparecesse como importado no painel do software, não podia ser visualizado adequadamente devido às limitações de desempenho. Dessa forma, foi necessário realizar a segmentação da nuvem, mantendo apenas a edificação em estudo, o que resultou em um arquivo de 337 MB. Essa redução possibilitou a importação da nuvem no Bonsai, além de melhorar o desempenho durante a modelagem BIM e minimizar problemas associados às limitações de hardware.

Em seguida, foi iniciada a modelagem da edificação, permitindo a execução de ajustes geométricos e o refinamento dos elementos construtivos. Entretanto, os vazios presentes na nuvem de pontos dificultaram o processo de modelagem, especialmente em função da geometria cilíndrica da edificação, que exige maior continuidade de dados para uma representação precisa. Para mitigar as falhas identificadas, foram empregados planos de referência para o adequado posicionamento geométrico do modelo, bem como superfícies auxiliares destinadas ao preenchimento dos vazios existentes. A adoção desses procedimentos contribuiu para melhorar a continuidade geométrica do modelo e aumentar a fidelidade da representação digital da edificação, favorecendo o desenvolvimento das etapas subsequentes da modelagem.

Além disso, a modelagem no Bonsai [17] apresentou desafios adicionais relacionados à complexidade operacional da ferramenta, especialmente no contexto da modelagem BIM. A modelagem demandou elevado esforço técnico e computacional, em razão da manipulação simultânea da nuvem de pontos e dos elementos construtivos, da elevada curva de aprendizagem e da necessidade de procedimentos manuais para correção de vazios, ajustes geométricos e categorização dos componentes em IFC. Vale ressaltar que este estudo preliminar focou apenas na representação da superfície externa da edificação, não contemplando a modelagem de seus espaços internos, o que potencialmente elevaria a demanda computacional e a complexidade operacional do fluxo de trabalho.

Em termos de interoperabilidade, a integração entre o WebODM [15], o CloudCompare [18], o Blender [16] e o Bonsai [17] demonstrou-se funcional no fluxo proposto, permitindo a transferência consistente de dados entre as etapas de processamento fotogramétrico, tratamento da nuvem de pontos e modelagem BIM. A Figura 4 apresenta o modelo final obtido.

**Figura 4: Modelo BIM em comparação com a edificação real.**



**Fonte:** Os autores (2026).

## DISCUSSÕES

Os achados preliminares deste estudo demonstram o potencial de ferramentas gratuitas para a digitalização de edificações no contexto Scan-to-BIM, contribuindo para a ampliação do acesso a essa metodologia. Entretanto, limitações relacionadas ao plano de voo automático reduziram o detalhamento da nuvem de pontos e dificultaram a modelagem, enquanto a curva de aprendizagem dos softwares e a escassez de referências técnicas demandaram maior tempo de adaptação e desenvolvimento do modelo.

Adicionalmente, aspectos operacionais associados ao uso do VANT, como a autonomia limitada da bateria e a dependência de condições climáticas favoráveis, impactaram diretamente a etapa de aquisição de dados, exigindo a realização de múltiplos voos e o adiamento da coleta devido à chuva e a ventos fortes. Outro aspecto relevante refere-se às oclusões na área de estudo, decorrentes da presença de árvores e edificações no entorno da estrutura analisada, o que impediu a coleta adequada de imagens em algumas fachadas.

Além disso, a modelagem BIM no Bonsai [17] apresentou desafios relacionados à necessidade de intervenções manuais para correção geométrica, preenchimento de

lacunas e adequação dos elementos construtivos ao padrão IFC. Embora o Blender [16] ofereça recursos de automação e parametrização, o processo demandou elevado domínio técnico e maior tempo de modelagem, especialmente em razão da geometria cilíndrica da edificação. Somam-se a isso a curva de aprendizagem dos softwares utilizados e a escassez de referências técnicas voltadas à modelagem no Bonsai, fatores que demandaram maior tempo de adaptação e desenvolvimento do modelo.

Em comparação ao estudo de Costa et al. [19], que utilizou softwares proprietários, o presente trabalho demonstrou que um fluxo baseado exclusivamente em ferramentas livres é capaz de gerar modelos BIM em formato IFC. Entretanto, a estratégia de voo automatizado e as limitações computacionais resultaram em menor detalhamento da nuvem de pontos, indicando que voos manuais podem proporcionar resultados mais precisos.

## CONCLUSÕES

Este estudo teve como objetivo analisar preliminarmente a aplicação de um fluxo de trabalho baseado exclusivamente em softwares livres para a modelagem BIM da superfície externa de uma edificação cilíndrica. Para isso, foi realizado um estudo de caso exploratório aplicado à digitalização do Bloco Multimídia do Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba, popularmente conhecido como “Bolo de Noiva”. A presente pesquisa contribui para ampliar as discussões sobre o uso de softwares livres na digitalização do ambiente construído. Adicionalmente, o estudo apresenta evidências preliminares sobre a aplicação do Bonsai [17] nas etapas de modelagem do processo Scan-to-BIM, ampliando as possibilidades de utilização dessa ferramenta em fluxos baseados em softwares livres.

Os resultados indicam que a qualidade da nuvem de pontos e, consequentemente, do modelo BIM gerado, depende diretamente da estratégia adotada para a aquisição das imagens. No presente estudo, a utilização de um plano de voo automatizado priorizou a cobertura geral da área, resultando em limitações na representação detalhada de alguns elementos construtivos.

A interoperabilidade entre o WebODM, o CloudCompare, o Blender e o Bonsai foi satisfatória, permitindo a continuidade do fluxo de dados ao longo das etapas de processamento fotogramétrico, tratamento da nuvem de pontos e modelagem BIM. Entretanto, a modelagem no Bonsai se mostrou complexa e com curva de aprendizagem íngreme quando comparada a softwares comerciais. Como limitação, o estudo não contemplou a avaliação quantitativa da precisão geométrica da nuvem de pontos nem do erro de posicionamento associado aos pontos de controle, aspectos que poderão ser investigados em pesquisas futuras.

Como perspectiva para trabalhos futuros, pretende-se realizar levantamentos adicionais utilizando voos manuais com o VANT, permitindo maior controle sobre os ângulos de captura e a obtenção de imagens mais detalhadas das fachadas e elementos arquitetônicos da edificação. Espera-se que essa estratégia proporcione nuvens de pontos mais densas e completas, reduzindo a ocorrência de vazios e elevando a precisão geométrica do modelo BIM. Adicionalmente, investigações futuras podem abranger a

modelagem dos ambientes internos da edificação, ampliando o escopo da reconstrução tridimensional. Também se sugere o desenvolvimento de métodos voltados à automação da modelagem e à classificação de elementos em IFC, visando aumentar a eficiência e a escalabilidade dos fluxos Scan-to-BIM baseados em softwares livres.

## AGRADECIMENTOS

Ao Grupo de Pesquisa Avançada em Construção e Engenharia (ARCE) e aos laboratórios de Modelagem da Informação da Construção & Modelagem e Experimentação de Estruturas (MIMEE) e de Topografia (LabTop) da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), pelo apoio e pela infraestrutura disponibilizados para o desenvolvimento desta pesquisa.

## DECLARAÇÃO

Neste estudo, ferramentas de inteligência artificial (ChatGPT e Gemini) foram empregadas exclusivamente para aprimorar a qualidade das figuras, auxiliar na revisão textual do manuscrito e realizar a tradução do resumo para a língua inglesa. Todo o conteúdo foi revisado e validado pelos autores, que assumem integral responsabilidade pela versão final do trabalho.

## REFERÊNCIAS

[1] OMRANY, H.; AL-OBAIDI, K.; HUSAIN, A.; GHAFFARIANHOSEINI, A. Digital twins in the construction industry: A comprehensive review of current implementations, enabling technologies, and future directions. **Sustainability**, v.15, n.14, p.10908, 2023. Disponível em: https://doi.org/10.3390/su151410908

[2] REVOLTI, A.; GUALTIERI, L.; PAUWELS, P.; DALLASEGA, P. From building information modeling to construction digital twin: A conceptual framework. **Production & Manufacturing Research**, v. 12, n. 1, p.2387679, 2024. Disponível em: https://doi.org/10.1080/21693277.2024.2387679

[3] PEPE, M.; KLAPA, P.; CRISAN, A.; DEWEDAR, A.; PALUMBO, D. A suitable scan-to-bim process using OS software and low-cost sensors: Trend, solutions and experimental validation. **Architecture**, v. 6, n. 1, p. 24, 2026. Disponível em: https://doi.org/10.3390/architecture6010024

[4] JAMES, R.; ROBSON, S. Mitigating systematic error in topographic models derived from UAV and ground-based image networks. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 39, n. 10, p. 1413–1420, 2014. Disponível em: https://doi.org/10.1002/esp.3609.

[5] TANNÚS, J. et al. Comparação entre técnicas de fotogrametria e escaneamento de luz estruturada para reconstrução de objetos em 3D. In: WORKSHOP DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA: SIMPÓSIO DE REALIDADE VIRTUAL E AUMENTADA, 21., 2019, Rio de Janeiro. **Anais [...]**. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, 2019.

[6] ALALOUL, S.; QURESHI, H.; MUSARAT, A.; SAAD, S. Evolution of close-range detection and data acquisition technologies towards automation in construction progress

monitoring. **Journal of Building Engineering**, v. 43, p. 102877, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.102877

[7] ABREU, N. et al. Procedural Point Cloud Modelling in Scan-to-BIM and Scan-vs-BIM Applications: A Review. **ISPRS International Journal of Geo-Information**, v. 12, n. 7, p. 260, 2023. Disponível em: https://doi.org/10.3390/ijgi12070260.

[8] BOSCHÉ, F. et al. The value of integrating scan-to-BIM and scan-vs-BIM techniques for construction monitoring using laser scanning and BIM: the case of cylindrical MEP components. **Automation in Construction**, v. 49, p. 201–213, 2015. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.autcon.2014.05.014.

[9] RIBEIRO, G.; VIEIRA, M.; MESQUITA, E.; MOREIRA, E.; TUCCI, G. An integrated HBIM protocol for digital documentation, management and reconstruction of historic buildings. **Journal of Building Engineering**, v. 118, p. 114920. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.jobe.2025.114920

[10] AFTAB, U.; JALEEL, F.; MANSOOR, R.; HAROON, M.; ASLAM, M. Obstructions in BIM Implementation for Developing Countries—A Mini-Review. **Engineering Proceedings**, v. 45, n. 1, p. 26, 2023. Disponível em: https://doi.org/10.3390/engproc2023045026.

[11] HAGAN, D.; ARYANTI, E.; T. ILHAMDANIAH, H. Barriers to BIM Adoption in Design Practice: A Systematic Review of Developing Countries. N**ature: National Academic Journal of Architecture**, v. 12, n. 1, p. 77-92, 2025. Disponível em: https://doi.org/10.24252/nature.v12i1a6.

[12] VALERO, E.; MOHANTY, D.; BOSCHÉ, F. Development of an Open-source Scan+BIM Platform. In: **Proceedings of the 37th International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC)**, Kitakyushu, Japan, 2020, p. 223–232. Disponível em: https://doi.org/10.22260/ISARC2020/0033.

[13] YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos.** 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.

[14] QGIS DEVELOPMENT TEAM. **QGIS Geographic Information System.** Disponível em: https://qgis.org/. Acesso em: 20 jun. 2026.

[15] WEBODM. **WebODM: Drone Mapping Software.** Disponível em: https://webodm.org/. Acesso em: 20 jun. 2026.

[16] BLENDER FOUNDATION. **Blender: Open-Source 3D Creation Suite.** Disponível em: https://www.blender.org/. Acesso em: 20 jun. 2026.

[17] BONSAI BIM. **Bonsai: OpenBIM Add-on for Blender.** Disponível em: https://bonsaibim.org/. Acesso em: 20 jun. 2026.

[18] CLOUDCOMPARE. **CloudCompare: Open Source Project.** Disponível em: https://www.cloudcompare.org/. Acesso em: 20 jun. 2026.

[19] COSTA, R.; FERNANDES, L.; MUTA, L.; ISATTO, E.; COSTA, D. B. Modelagem 3D de edificação gerada por fotogrametria com uso de Veículos Aéreos Não Tripulados (Vant). **Ambiente Construído**, v. 24, p. e131377, 2024. Disponível em: https://doi.org/10.1590/s1678-86212024000100737