


Modelagem 3D de edificação gerada por fotogrametria com uso de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT)

3D modeling of building generated by photogrammetry using Unmanned Aerial Vehicles (UAVs)

Rayana Pinto Costa 

Luara Lopes de Araujo Fernandes 

Luís Filipe Muta 

Eduardo Luis Isatto 

Dayana Bastos Costa 

Resumo

Projetos de construção são sistemas altamente complexos que apresentam recorrentemente discrepâncias entre o trabalho planejado e o trabalho realizado. Tecnologias digitais, como a fotogrametria com VANTs (drones), são ferramentas de suporte promissoras nesse contexto. Assim, este estudo tem como objetivo avaliar os procedimentos de desenvolvimento e qualidade de um modelo 3D gerado por fotogrametria através de imagens capturadas por drone, comparando-o ao modelo *as-designed* BIM. Para isso, realizou-se um estudo de caso em uma habitação de interesse social localizada em Camaçari-BA. Comparado ao modelo BIM projetado, o modelo fotogramétrico apresentou um desvio dimensional médio de -1,68%. O modelo também apresentou inconsistências como oclusões e deformações. O estudo mostra que tanto esse desvio como a qualidade do modelo fotogramétrico obtido podem ser consideravelmente influenciados pela forma de coleta dos dados (ex. baixa quantidade e resolução das fotos). A principal contribuição do estudo é apresentar o potencial do uso do VANT para captura de imagens para geração de um modelo de fotogrametria.

Palavras-chave: BIM. Fotogrametria. Modelo 3D. VANT.

Abstract

Construction projects are highly complex systems that recurrently present discrepancies between work-as-imagined and work-as-done. Digital technologies, such as photogrammetry using UAVs (drones), are promising support tools to cope with this problem. Therefore, this study aims to evaluate the procedures for developing and assessing the quality of a 3D model generated through photogrammetry from images captured by a drone, comparing it to the as-designed BIM model. Thus, a case study was carried out in a residential low-income housing construction project in Camaçari, Brazil. Compared to the as-designed BIM 3D model, the photogrammetric model presented an average dimensional deviation of -1.68%. The model also presented issues such as occlusions and deformations. The study highlights that both this deviation and the quality of the photogrammetric model can be significantly influenced by the data collection method (e.g., quantity and resolution of photos). The study's primary contribution lies in presenting the potential of UAV usage for image capture in photogrammetry model generation.

Keywords: BIM. Photogrammetry. 3D model. UAV.

¹Rayana Pinto Costa
¹Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Porto Alegre - RS - Brasil

²Luara Lopes de Araujo Fernandes
²Universidade Federal da Bahia
Salvador - BA - Brasil

³Luís Filipe Muta
³Universidade Federal de Santa Catarina
Florianópolis - SC - Brasil

⁴Eduardo Luis Isatto
⁴Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Porto Alegre - RS - Brasil

⁵Dayana Bastos Costa
⁵Universidade Federal da Bahia
Salvador - BA - Brasil

Recebido em 31/03/23
Aceito em 24/10/23

Introdução

A construção civil é conhecida como uma indústria conservadora e defasada, quando comparada a outros setores em termos de métodos produtivos e inovação (Alaloul *et al.*, 2021; Terzis, 2022). Simultaneamente, há uma crescente demanda por produtos de maior qualidade, sustentabilidade e desempenho, ao mesmo tempo que há recursos cada vez mais escassos, com prazos e orçamentos limitados, em um ambiente de construção complexo e com atividades interligadas. Isso resulta em margens estreitas para erros, desperdícios e retrabalhos, exigindo, portanto, maior qualidade e agilidade da construção.

As tecnologias digitais têm contribuído significativamente para a evolução do setor, principalmente após a maior difusão dos conceitos de transformação digital, Indústria 4.0 e, mais recentemente, de Indústria 5.0 – que tem como pilares a centralidade humana, sustentabilidade e resiliência (Coelho *et al.*, 2023; Ghobakhloo *et al.*, 2021). A implementação dessas novas tecnologias tem sido vista como meio relevante para a redução de falhas humanas e dos custos de produção, incentivando a promoção de sociedade sustentável, e expansão das oportunidades de negócios (Baduge *et al.*, 2022; Pregnolato *et al.*, 2022; Regona *et al.*, 2022; Zhang *et al.*, 2023). Assim, existe uma demanda crescente por tecnologias que façam a aquisição de dados da construção de maneira semiautomática ou automática, em contraste aos métodos tradicionais, os quais são demorados, caros e propensos a erros (Reja; Varghese; Ha, 2022; Yang *et al.*, 2015).

Técnicas como o escaneamento 3D e a fotogrametria têm sido utilizados para gerar modelos 3D *as-built* de edificações a partir de nuvens de pontos (Groetelaars; Amorim, 2011). A fotogrametria pode ser definida como a geração de um modelo 3D de nuvem de pontos, conhecido como modelo *as-built*, de qualquer objeto, a partir de fotografias digitais (Alaloul *et al.*, 2021; Melo Júnior *et al.*, 2018; Tannús *et al.*, 2019). Vale ressaltar que a fotogrametria é uma técnica mais barata que o escaneamento 3D (James *et al.*, 2017; Tannús *et al.*, 2019).

Essas tecnologias auxiliam na atualização do *as-designed* BIM, possibilitando identificar divergências entre o planejado e executado durante o processo construtivo da edificação ou mesmo na entrega final (*as-built*). Assim, a combinação da modelagem da informação da construção com técnicas de geração de modelos a partir de nuvens de pontos pode ser empregada para avaliar a qualidade do que foi executado, comparando o modelo construído gerado por nuvem de pontos com modelos 3D BIM *as-designed* (Álvares, 2019; Dezen-Kempter *et al.*, 2015). Entretanto, a compatibilização de modelos de dados em grande escala é desafiadora, ainda mais quando há atualizações frequentes, sendo importante uma abordagem semiautomatizada (Wang *et al.*, 2009).

O BIM (Modelagem da Informação da Construção) abrange tanto uma tecnologia de modelagem quanto um conjunto de procedimentos interligados utilizados para desenvolver, comunicar e analisar modelos de construções (Eastman *et al.*, 2018). Os modelos BIM podem servir como repositório de informações para armazenar e fornecer informações conforme construídas uma vez que nem sempre um edifício é construído conforme as especificações de projeto.

A principal vantagem do BIM é a criação de uma representação virtual de uma edificação antes de sua construção física. Isso possibilita os participantes do projeto conceberem, analisar, planejar e explorar o projeto em um ambiente digital, onde fazer alterações é mais econômico do que no local de construção, onde as mudanças são dispendiosas. A integração permite que a equipe colabore em direção a um objetivo comum (Hardin; McCool, 2015). Portanto, o BIM é uma abordagem abrangente de criação e gerenciamento de informações para um projeto de construção. Ele envolve a criação de um modelo digital 3D detalhado que integra informações de todas as disciplinas envolvidas no projeto fornecendo uma plataforma de colaboração eficiente para todas as partes interessadas.

Outra abordagem descrita na literatura é a adoção de técnicas de geração de modelo para capturar o estado real de uma instalação e a nuvem de pontos resultante ser processada para criar um modelo BIM *as-built*. Para isso, o processo para automatizar a criação de modelos BIM conforme construído pode ser dividido em três operações principais: modelagem geométrica, reconhecimento de objetos e modelagem de relacionamentos entre objetos (Tang *et al.*, 2010).

Na fotogrametria utilizando o VANT (Veículo Aéreo Não Tripulado) como instrumento de coleta, a qualidade do modelo e da nuvem de pontos está diretamente relacionado aos procedimentos utilizados (número de fotos capturadas, rota do drone, condições ambientais etc.), forma de processamento das imagens, especificações dos equipamentos, georreferenciamento, entre outros (Huang *et al.*, 2022; Qureshi *et al.*, 2022; Sun *et al.*, 2022). Rey (2020), por exemplo, propõe procedimento para sistema computadorizado de verificação de segurança em locais de construção, com o auxílio de VANT, considerando a visão computacional para coleta e análise de dados e o processamento digital de imagens por cores e aprendizagem de máquina.

Além disso, outros desafios citados estão relacionados à detecção de alterações, oclusões e ruídos no modelo gerado e a dificuldade em juntar as fotografias do interior e do exterior para reconstruir um modelo sólido em vez de um modelo de superfície (Hu *et al.*, 2022; Huang *et al.*, 2022). Buscando contribuir para a redução da complexidade envolvida na coleta desses dados e aprimoramento da qualidade do modelo *as-built* gerado a partir da nuvem de pontos, esta pesquisa tem como objetivo avaliar os procedimentos de desenvolvimento e qualidade de um modelo 3D gerado por fotogrametria através de imagens capturadas por drone, comparando-o ao modelo *as-designed* BIM. Essa avaliação foi desenvolvida comparando as medidas do modelo da nuvem de pontos com as do modelo *as-designed* BIM, à luz dos procedimentos adotados para coleta de dados conforme literatura, de maneira a identificar como esses últimos afetam a qualidade do modelo/nuvem de pontos. A principal contribuição deste trabalho é apresentar o potencial do uso do VANT para captura de imagens para geração de um modelo de fotogrametria.

Referencial teórico

Na construção civil é importante identificar divergências entre o planejado e executado para a tomada de ações corretivas em tempo hábil. Isso garante que a qualidade, segurança, prazo e custo do empreendimento não sejam comprometidos. Frequentemente, a construção final não corresponde fielmente ao modelo original, como consequência de mudanças que ocorrem durante o processo da obra, sendo importante atualizar o modelo *as-designed*. Entretanto, métodos tradicionais de coleta de dados, como relatórios diários de obra, são propensos a erros, demorados, trabalhosos, e podem envolver exposição a condições inseguras durante a coleta de dados. Com isto, o uso de tecnologias da informação e a digitalização surge como uma tendência para maximizar a precisão e minimizar a necessidade de intervenção humana local (Greeshma; Edayadiyil, 2022; Mhmoud Alzubi *et al.*, 2022; Rao *et al.*, 2022).

Dentre as tecnologias que vêm sendo adotadas, destacam-se a aquisição e detecção de dados por imagem, como a fotogrametria com drones, em combinação com a Modelagem da Informação da Construção (BIM), proporcionando os meios pelos quais os modelos *as-built* e *as-designed* podem ser comparados (Alaloul *et al.*, 2021). A aquisição de dados para geração de modelo envolve diversas questões que precisam ser aprimoradas, tais como imprecisões do modelo, a presença de oclusões, e os algoritmos empregados para a detecção de elementos (Braun *et al.*, 2020).

De forma geral, a fotogrametria é utilizada para obter um modelo de nuvem de pontos 3D a partir de fotografias digitais do objeto real construído, o qual é então comparado a representação geométrica do modelo BIM *as-designed* (Kirriak, 2021). Atualmente, softwares necessários para a fotogrametria já são amplamente disponíveis no mercado, por exemplo, *Agisoft Photoscan*, *VisualSFM*, *Patch-based Multi-view Stereo Software e Clustering Views for Multi-view Stereo* (Mahami *et al.*, 2019a, 2019b). Inclusive, uma versão estudante é fornecida pela Autodesk do software intitulado *Autodesk Recap Photo*. O *Recap* é um aplicativo conectado à nuvem que possui funcionalidade avançadas para criar malhas tridimensionais com texturas, nuvens de pontos georreferenciadas e fotografias ortogonais, com ferramentas para a visualização e edição dessas malhas (Autodesk, 2022).

Ademais, a fotogrametria integrada ao BIM vem sendo usada com métodos de visão computacional, área que envolve processamento de imagem e inteligência artificial, para a detecção de componentes da edificação (Ekanayake *et al.*, 2021; Reja; Varghese; Ha, 2022). No caso do uso da fotogrametria para o monitoramento do progresso da construção baseado em visão computacional, ela engloba três etapas: aquisição de dados e reconstrução 3D; modelagem do *as-built*; e avaliação do progresso (Reja; Varghese; Ha, 2022). Contudo, o acompanhamento da evolução de obras nas partes internas de edifícios ainda é tema de investigação, uma vez que os elementos dentro da construção não estão visíveis nos voos do VANT fora da edificação (Braun *et al.*, 2020).

No que concerne às vantagens, a fotogrametria se destaca pela simplicidade, custo-benefício, facilidade de compartilhamento dos dados e resultados mais eficazes que outras técnicas, como a videogrametria. Kirriak (2021) salienta a elevada produtividade da técnica, já que são medidas imagens e não objetos, e a medição de alta precisão, pois são utilizadas câmeras de alta qualidade e imagens processadas por algoritmos. Kirriak (2021) também destaca como vantagem as informações do objeto em forma digital e gráfica, mesmo quando ele está distante ou em ambiente perigoso, e a capacidade de obter informações sobre a estado de toda a instalação e suas partes individuais. Enquanto isso, elencam-se entre as desvantagens da técnica, a sensibilidade às condições de iluminação e a sensibilidade ao processamento das imagens (Alaloul *et al.*, 2021). Estes últimos são considerados durante a execução deste estudo para garantir a qualidade do modelo, embora esse não seja o foco principal do artigo.

Igualmente, a efetividade da técnica depende do domínio e conhecimento sobre os fatores que podem influenciar a qualidade do modelo construído. Inclusive, estudos propõem métodos de avaliação da qualidade de modelos 3D mais leves, dando ênfase na avaliação de atributos globais e precisão de posicionamento do plano, com o objetivo de sanar a problemática de modelos muito realistas não poderem ser eficientemente aplicados ao modelo BIM, devido à extensa quantidade de dados associados a nuvens de ponto de alta densidade (malhas triangulares) e dados de textura (Chen *et al.*, 2021). Adicionalmente, Yang *et al.* (2021) apresentam método que aprimora a precisão das coordenadas de pontos de medição por meio do mapeamento de intersecções múltiplas obtidas com imagens de intersecção fornecidas por meio de sistema de fotogrametria oblíqua de VANT.

Quanto à forma de coleta dos dados de fotogrametria, os veículos aéreos não tripulados (VANT) são instrumentos usados para a captura de imagens que são considerados menos caros, mais concisos, eficientes e fáceis de operar comparativamente a equipamentos tradicionais de medição. Exemplos de aplicação de VANT abordados em pesquisas foram o monitoramento da segurança e análise da construção de valas de fundação (Wu *et al.*, 2021), e na medição de topo batimetria de lagos com o emprego de imagens sobrepostas por fotogrametria *structure from motion* (SfM) (He *et al.*, 2021). SfM é uma técnica de fotogrametria que trabalha com conjuntos de imagens desordenadas e heterogêneas para estimar modelos 3D sem exigir conhecimento prévio dos parâmetros da câmera (Westoby *et al.*, 2012). Também, os VANT podem ser usados para estimar biomassa acima do solo de árvores em florestas urbanas por nuvem de pontos (Lin *et al.*, 2022). Adicionalmente, Rey (2020) apresenta protocolo para sistema informatizado de inspeção da segurança em canteiros de obra apoiado por VANT, o qual foi considerado para determinar os requisitos para o voo com o VANT e coleta das imagens fotográficas para geração de modelo 3D deste estudo. Também, se considerou as recomendações de planejamento de voo e aquisição de imagens sugeridas por Elkhachy (2021), Freimuth e König (2018) e Nex *et al.* (2022).

Acrescentando a isso, vários artigos são dedicados ao uso da fotogrametria com drone na construção. Alguns estudos, por exemplo, focaram na investigação do uso da fotogrametria oblíqua para modelar cenários urbanos complexos (Toschi *et al.*, 2017), na identificação de problemas que surgem na construção de usinas nucleares (Kiriak, 2021), na reconstrução de monumentos históricos (Hu *et al.*, 2021; Pepe *et al.*, 2022), no monitoramento da integridade estrutural de barragens e do deslocamento de edificações (Sun *et al.*, 2022; Zhao *et al.*, 2021), na inspeção de paredes externas de prédios (Tan *et al.*, 2022), na avaliação da infraestrutura de pontes (MANDIROLA *et al.*, 2022), na detecção e classificação de danos em estradas de asfalto afetadas por deslizamentos de terra (Nappo *et al.*, 2021), e na gestão inteligente de resíduos da construção provenientes da demolição de edifícios (HU *et al.*, 2022).

Inclusive, Nappo *et al.* (2021) conseguiram detectar, usando drones voando a 10m de altura, a presença de trincas com largura superior a 1cm em pavimentos rodoviários. Igualmente, Zhao *et al.* (2021) consideraram o modelo de barragem gerado por fotogrametria via VANT adequado para inspeções e medições ao comparar as medidas reais da barragem com as do modelo construído. Entretanto, apesar dos erros serem considerados por eles toleráveis (abaixo de 3 cm), os autores ressaltam a redução da precisão das medições ligadas à direção escolhida da barragem.

Adicionalmente, Wu *et al.* (2021) elencaram fatores que afetam a qualidade de seus dados brutos e foram considerados para definir as condições experimentais por eles adotados ao reconstruir modelo 3D de vala de fundação com imagens obtidas via VANT. Esses fatores foram: a altitude do voo, pois quanto mais próximo ao solo, maior é a resolução (foi adotada a altitude de 15 m); a rota de voo, definida para manter uma resolução constante (empregou-se o modo de grade convencional para capturar imagens); e o grau de sobreposição das imagens adjacentes (quanto mais as imagens se sobrepõem, mais informações podem ser extraídas e mais densa é a nuvem de pontos) (Wu *et al.*, 2021). Os autores utilizaram imagens capturadas com pelo menos 75% de sobreposição frontal e 60% de sobreposição lateral. Braun *et al.* (2020) destacam ainda os desafios associados à presença de oclusões no modelo 3D. Estes autores citam as condições de iluminação, detecção dos elementos a partir de diferentes pontos de vista, texturas de superfície, e a quantidade e resolução das imagens tiradas, como fatores preponderantes para a presença de oclusões na nuvem de pontos. Também, ressaltam a questão de elementos que são ocluídos por elementos de construção temporários, o que torna difícil para os algoritmos detectarem o estado de progresso da construção.

Em resumo, a aplicação da fotogrametria com drones na indústria de construção tem demonstrado sua eficácia em uma variedade de cenários, desde a detecção de trincas em pavimentos rodoviários até a inspeção de barragens e a reconstrução de monumentos históricos. Embora desafios, como o impacto da altitude de voo e oclusões, sejam reconhecidos, esses estudos destacam a importância de considerar as condições experimentais para obter resultados precisos e úteis.

Método de pesquisa

A estratégia de pesquisa adotada neste trabalho foi o estudo de caso. O delineamento do estudo está apresentado na Figura 1.

Planejamento do estudo

A primeira etapa do desenvolvimento do estudo consistiu no levantamento de informações na literatura, relacionada aos requisitos necessários para o voo com o VANT, coleta das imagens fotográficas e geração de modelo 3D por fotogrametria (Elkhrachy, 2021; Freimuth; König, 2018; Nex *et al.*, 2022). Recomendações como altitude de voo o mais próximo possível do solo para obter maiores resoluções, rotas de voo definidas para manter resolução constante nas imagens e sobreposição das imagens adjacentes foram considerados conforme Wu *et al.* (2021).

A princípio, a equipe de trabalho utilizou a câmera de celular smartphone Apple Iphone 6s para captura de imagens e o software *Autodesk Recap Photo* para o processamento das mesmas. O celular foi usado para teste exploratório a fim de adquirir familiaridade com a coleta de imagens e o processamento dos dados utilizando o software mencionado. Optou-se pelo *Autodesk Recap Photo* devido a sua popularidade entre acadêmicos e construtores (pelo fato de a Autodesk ser uma marca reconhecida e respeitada no setor), pela sua facilidade de uso e por ter uma versão educacional, o que permite realizar o estudo com um baixo custo de investimento sem comprometer a qualidade e o rigor científico.

Em seguida, realizou-se a primeira visita ao canteiro de obras com o intuito de realizar a captura preliminar de imagens e gerar um modelo piloto. Neste teste, verificou-se a quantidade de informação que a foto do smartphone conseguia capturar e a influência do posicionamento do indivíduo durante a captura das fotos. Também, utilizou-se esta fase para aprimorar a familiarização dos pesquisadores com o software. Assim, a equipe de pesquisa optou por utilizar o drone como instrumento de captura e manteve o *Autodesk Recap Photo* como ferramenta de processamento.

Coleta de dados

A coleta dos dados foi realizada em um canteiro de obras de uma habitação de interesse social, parte do programa Minha Casa Minha Vida (MCMV), localizada na cidade de Camaçari-BA (Figura 2). O empreendimento é composto por 24 edifícios residenciais de 5 pavimentos e possui área construída total de 25.596,25 m².

O levantamento dos registros fotográficos foi realizado a partir de um Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT), popularmente conhecido como drone, modelo DJI Phantom 4 V1.2. O drone possuía uma câmera EXMOR ½.3" de 20 megapixels acoplada, a qual captura fotos e vídeos, e os disponibiliza nos formatos JPEG e DNG (fotos) e MP4 (vídeos). A operação e controle da aeronave foi realizada a partir de controle remoto e do aplicativo DJI GO 4, instalado em um smartphone Android Samsung Galaxy A5. Estes equipamentos foram disponibilizados pelo Grupo de Pesquisa e Extensão em Gestão e Tecnologia das Construções (GETEC) da Universidade Federal da Bahia (UFBA).

O voo foi realizado em 29 de outubro de 2020, por volta das 09:15 da manhã. O voo do drone para captura de imagens foi dividido em três etapas principais, conforme protocolo proposto por Rey (2020):

- (a) antes do voo: foram verificadas as condições do voo, como a presença de postes e rede elétrica, árvores, condições climáticas (Figura 3). Vale ressaltar que a ida ao canteiro foi adiada duas vezes devido ao período de chuvas no local. No dia do voo, o equipamento alertou diversas vezes, através do smartphone, que havia muito vento na região, recomendando cautela na realização do percurso. Também foram verificadas as condições do equipamento, objetivo e dados do voo, percurso do VANT e posicionamento do piloto e do observador (Rey, 2020).
- (b) durante o voo: foi realizada a coleta das informações em campo. O percurso VANT está apresentado na Figura 4. O trajeto foi realizado capturando fotos do canteiro como um todo e de dois edifícios em específico (A e B na Figura 4). Esses edifícios foram escolhidos devido a etapa que estavam, a de acabamento, o que geraria modelo um com mais detalhes para análise. Assim, essa rota de voo foi estabelecida para capturar imagens dos edifícios contemplando os mais diversos ângulos. Assim, foram tiradas fotografias de cima e das frentes do empreendimento. Foram necessárias duas pessoas para a realização do voo: um piloto e um observador. O piloto possuía treinamento adequado e experiência nessa atividade; e

- (c) após o voo: finalização do voo e registro dos dados. Após o estacionamento da aeronave, ela foi conectada a um notebook através de cabo USB para transferência das fotos capturadas (101 fotos no total).

Figura 1 - Delineamento do estudo

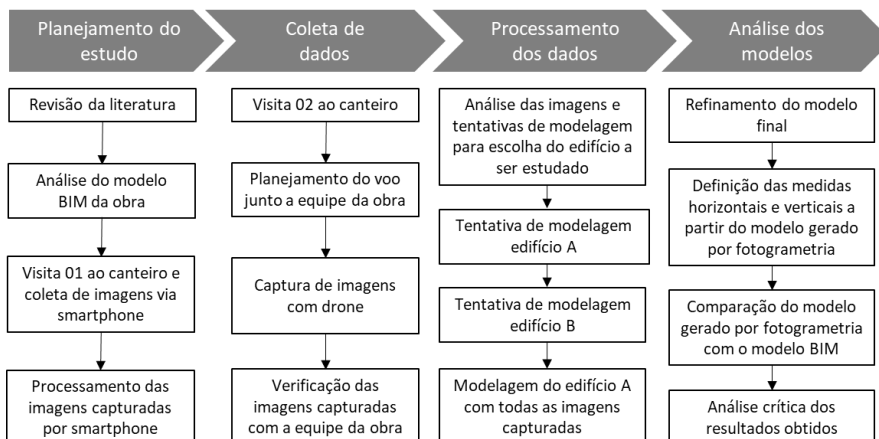


Figura 2 - Canteiro de obras no qual a coleta de dados foi realizada



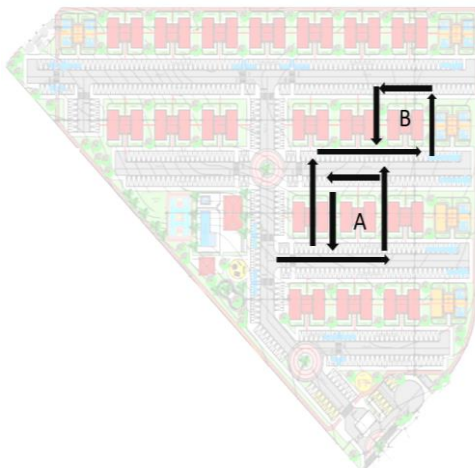
Figura 3 - Checklist para início da missão com VANT

Checklist para início da Missão com VANT		Comentários
1. Retirar controle remoto da caixa	<input type="checkbox"/>	
2. Ligar roteador (tablet ou celular)	<input type="checkbox"/>	
3. Verificar cartão SIM	<input type="checkbox"/>	
4. Ligar controle remoto	<input type="checkbox"/>	
5. Levantar antenas	<input type="checkbox"/>	
6. Retirar VANT da caixa	<input type="checkbox"/>	
7. Remover proteção da câmera	<input type="checkbox"/>	
8. Inserir cartão micro SD	<input type="checkbox"/>	
9. Inserir bateria do VANT	<input type="checkbox"/>	
10. Colocar o VANT em lugar aberto e seguro para a decolagem e para que ele possa retornar a localização se a função "return to HOME" for acionada	<input type="checkbox"/>	
11. Checar encaixe das hélices	<input type="checkbox"/>	
12. Ligar bateria do VANT	<input type="checkbox"/>	
13. Conectar cabo USB	<input type="checkbox"/>	
14. Ligar aplicativo de controle (DJI go)	<input type="checkbox"/>	
15. Verificar visualização da câmera	<input type="checkbox"/>	
16. Verificar conexão de satélite (número)	<input type="checkbox"/>	
17. Verificar níveis de bateria para um voo seguro (bateria do VANT, do roteador e do controle remoto) (%)	<input type="checkbox"/>	
18. Verificar a indicação de "safe to fly" no aplicativo de controle	<input type="checkbox"/>	

Dados do Voo	
Data	
Localização	
Fase de projeto	
Condições climáticas	
Horário de início	
Nome do Piloto	
Nome do observador	
Modalidade do Voo	autônomo manual

Fonte: Rey (2020).

Figura 4 - Percurso do VANT no canteiro de obra estudado



Processamento dos dados

Após esta etapa, foi realizado o processamento das imagens no software *Autodesk Recap Photo* para geração de um modelo a partir das fotos coletadas pelo VANT. Nas tentativas de geração do modelo, optou-se por escolher o edifício A para seguir com as análises do estudo, uma vez que este já estava em uma fase mais avançada em relação ao B, o que permitiria explorar os detalhes da edificação e as medidas avaliadas de forma mais precisa.

Foram realizadas 5 tentativas de modelagem, sendo a última adotada no modelo final. As três primeiras tentativas de modelagem visaram a obtenção de um modelo específico para o edifício A (Figura 4), compreendendo cerca de 50 fotos. Porém, observou-se que os modelos obtidos em cada uma dessas tentativas apresentavam diversos vazios e distorções, além de partes do canteiro que o software foi identificando nas fotos. A solução adotada para obter um modelo com menos imperfeições foi gerar modelos com praticamente todas as fotos obtidas com o drone (foram obtidas 101 fotos e o software só permite a inserção de 100, uma vez que se utilizou uma versão estudantil).

Análise dos modelos

Nesta etapa, analisou-se a qualidade do modelo gerado pelo software *Autodesk Recap Photo*, a partir das imagens coletadas com drone, comparando-o ao modelo BIM *as-designed* da edificação. Para melhorar a visualização da edificação B, eliminou-se, com uso de ferramenta de seleção do *Recap*, todos os elementos irrelevantes contidos ao redor da edificação estudada. Além disso, o modelo passou por tratamento para preencher vazios inicialmente não detectados pelo software e para suavizar seus limites. Vale ressaltar que o modelo está geolocalizado, não podendo assim ser transformado ou ter sua escala alterada. Em seguida, com base no modelo BIM projetado (*as-designed*) da edificação, foram identificadas as dimensões horizontais e verticais de interesse, representadas na Figura 5, para realizar a avaliação comparativa da precisão do modelo gerado por fotogrametria (*as-built*) com o BIM *as-designed* neste estudo.

Resultados e discussões

O modelo gerado no software *Recap* por fotogrametria está apresentado na Figura 6. Pode-se observar que ele possui aparência similar à edificação B estudada, embora essa técnica apresente a limitação de ser dependente do que é capturado nas fotos (Zhao *et al.*, 2021). Assim, foi verificado empiricamente que uma adequada sequência de fotos e a boa qualidade das mesmas são essenciais para garantir um modelo representativo, o que já era apontado pela literatura na seção “Referencial teórico” deste artigo.

Entretanto, mesmo que este modelo seja visualmente semelhante ao edifício estudado, ele apresenta inconsistências, conforme ilustrado na Figura 7. Existem pontos que representam incorretamente a aparência e as dimensões, o que ocorre quando o modelo gera automaticamente a estrutura devido à falta de informações. Alternativamente, pode haver a presença de vazios que podem ser corrigidos. As oclusões, também conhecidas como vazios, podem ser corrigidas no software *Autodes Recap Photo* na função “Editar” (*Edit*) usando a ferramenta “Preencher Vazio” (*Fill Hole*). Se o software não conseguir detectá-las, pode-se também usar a função “Detectar e corrigir problemas do modelo” (*Detect and fix model issues*) em “Analisar” (*Analyze*).

Outra opção é fornecer ao modelo novas fotos das áreas onde as discrepâncias foram observadas para um novo processamento. No entanto, lembra-se que a versão estudantil do software aqui utilizado tem limitação de 100 fotos. Além disso, no caso avaliado, não foi possível retornar ao local de estudo para obter novas fotos.

Figura 5 - Medidas gerais (à esquerda), de elementos de fachada (ao centro) e do telhado (à direita) da edificação

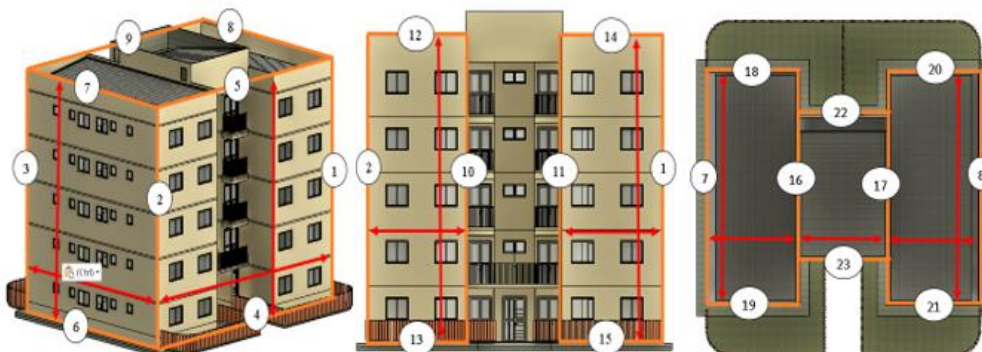


Figura 6 - Modelo gerado no Recap por fotogrametria com diferentes vistas: geral (à esquerda acima); fachada I (à direita acima), fachada II (à esquerda abaixo) e cobertura (à direita abaixo)



Figura 7 - Inconsistências do modelo gerado pelo software Recap a partir das fotos coletadas pelo drone: representação errônea da aparência e medidas (à esquerda acima), (à direita acima) e (à esquerda abaixo); presença de vazios (à direita abaixo)



Após a criação do modelo no *Recap*, ele foi exportado para formato FBX e convertido por meio do software *FME Workbench* para DWG. Em seguida, abriu-se o formato DWG no software *Autodesk Revit* para a coleta das dimensões verticais e horizontais definidas na seção Métodos. A Figura 8 apresenta a nuvem de pontos gerada por fotogrametria e aplicada no software *Autodesk Revit*. Nota-se nesse modelo arestas onduladas, ou seja, com deformações, o que pode comprometer a precisão de certas medidas. Desse modo, elas podem variar moderadamente de acordo com o usuário (Huang *et al.*, 2022; Qureshi *et al.*, 2022; Sun *et al.*, 2022).

Além disso, também foram coletadas as dimensões horizontais e verticais do modelo BIM no software *Autodesk Revit* para a comparação da precisão dos dois exemplares. Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 1.

Com exceção das medidas N. 22 ($\Delta L = 0,04$ m) e 23 ($\Delta L = 0,05$ m), todas as dimensões avaliadas do modelo gerado com fotogrametria foram superiores às medidas do modelo BIM, com erro médio de $-0,11$ m ($-1,68\%$) e erro máximo de $0,42$ ($8,97\%$) na dimensão n. 9. Os três maiores desvios dimensionais, foram os de números 9 ($0,42$ m), 8 ($0,306$ m) e 5 ($0,302$ m), sendo estes localizados no telhado da edificação. Esses resultados indicam a existência de certa divergência entre os dois modelos, o que pode sugerir inadequação entre o *as-built* e o modelo BIM de projeto, ou a falta de precisão do modelo gerado por fotogrametria. Para o caso aqui avaliado, sabe-se que o modelo apresentou certo nível de inconsistência com distorções e oclusões, o que pode ter afetado a qualidade dele. Deve-se atentar que na fotogrametria por VANT a qualidade do modelo influi na aplicação final. O modelo gerado depende diretamente do número e qualidade das fotos tiradas, do processamento de imagem, da nuvem de pontos, das especificações dos equipamentos, do georreferenciamento, entre outros, conforme verificado empiricamente no estudo e indicado na literatura (Huang *et al.*, 2022; Qureshi *et al.*, 2022; Sun *et al.*, 2022). Assim, sugere-se que sejam estabelecidas margens de tolerância condizentes com o tipo de aplicação do modelo de fotogrametria a fim de identificar o nível de adequação dele.

Figura 8 - Nuvem de pontos gerada por fotogrametria e aplicada no software Autodesk Revit: geral (à esquerda), fachada I (ao centro) e fachada II (à direita) da edificação



Tabela 1 - Comparação das dimensões verticais e horizontais do modelo BIM e por fotogrametria

N. dimensão	L ₁ (As-Built BIM) [m]	L ₂ (Fotogrametria) [m]	ΔL (m)	ΔL (%)*
1	14,960	15,006	-0,046	-0,307
2	14,960	15,034	-0,074	-0,492
3	14,960	15,096	-0,135	-0,898
4	18,267	18,447	-0,180	-0,977
5	18,267	18,569	-0,302	-1,628
6	13,707	13,708	-0,001	-0,007
7	13,707	13,763	-0,056	-0,408
8	13,707	14,013	-0,306	-2,184
9	18,267	18,694	-0,427	-2,284
10	14,960	14,999	-0,039	-0,257
11	14,960	15,044	-0,084	-0,558
12	0,610	0,638	-0,028	-4,314
13	0,610	0,62672	-0,016	-2,604
14	0,610	0,655	-0,045	-6,830
15	0,610	0,629	-0,019	-2,977
16	13,707	13,934	-0,227	-1,631
17	13,707	13,976	-0,269	-1,924
18	0,621	0,665	-0,044	-6,664
19	0,621	0,656	-0,035	-5,367
20	0,621	0,665	-0,044	-6,667
21	0,621	0,660	-0,039	-5,965
22	0,585	0,545	0,040	7,402
23	0,585	0,537	0,048	8,968
		Erro médio ($\epsilon_{méd}$)*	-0,1	-1,67
		Erro máximo ($\epsilon_{máx}$)*	0,42	8,97%

Nota: *os seguintes itens foram calculados conforme as Equações 1, 2, 3 e 4:

Eq. 1 - $\Delta L = L_1 - L_2$;

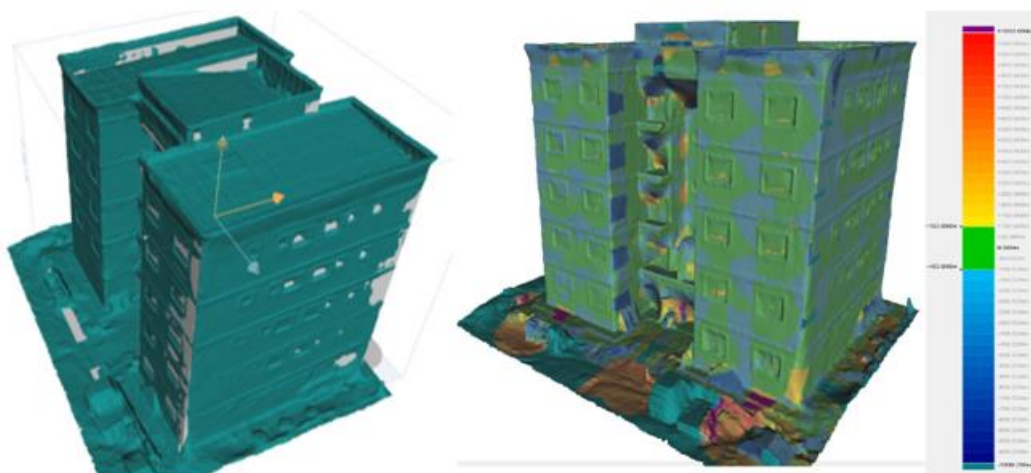
Eq. 2 - $\Delta L (\%) = ((L_1/L_2) - 1) * 100$;

Eq. 3 - $\epsilon_{méd} = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta L_i}{n}$; e

Eq. 4 - $\epsilon_{máx} = \Delta L_{máx}$.

Finalmente, após a geração do modelo por fotogrametria e avaliação da representatividade do modelo manualmente, os resultados da comparação do modelo do software *Recap* com o modelo 3D de projeto são mostrados na Figura 9. Nessa Figura 9, os dois modelos são sobrepostos no software *Recap* onde é feita uma segunda avaliação da sua precisão. Na Figura 9 (à direita), nota-se que as áreas em verde exibem variações dentro da faixa de +0,1 a -0,1 metros nas medidas, enquanto as áreas em tons de azul oscilam entre -0,1 a -0,1 metros, e as áreas em amarelo/vermelho apresentam variações que variam de +0,1 a +1 metros. No modelo, destaca-se a predominância da cor verde e da tonalidade azul claro.

Figura 9 - Sobreposição dos modelos (à esquerda) e relatório de comparação da precisão pelo software Recap (à direita)



A partir dos resultados expostos na seção anterior, verifica-se que o modelo gerado precisa de melhorias. O modelo apresentou aparência similar à edificação do estudo de caso, mas com defeitos (oclusões) e representações errôneas (distorções) de partes da edificação ao auto gerá-los na ausência de informações suficientes (Figura 7). Como reflexo, as medidas têm seu grau de precisão comprometido (Tabela 1). Vale ressaltar que foi utilizada a versão estudantil do *Autodesk Recap Photo*, que só permite a inserção de 100 imagens por modelo gerado. Assim, verifica-se que caso seja utilizado a versão comercial (ou outro software que permita o upload de um número maior de imagens), pode-se obter um modelo de maior qualidade e precisão.

O emprego de veículo aéreo não tripulado (VANT) foi importante para conseguir uma sequência apropriada de fotos com ampla visão da edificação. O VANT é uma ferramenta de relativo baixo custo, quando comparada a outras tecnologias que são usadas para o mesmo fim, sendo acessível para uso em canteiros de obra. Além disso, o equipamento possibilitou o acesso a locais com restrições de circulação. Na fase de construção, o VANT pode ser aplicado para diversos outros propósitos, como mapeamento do local para fins de terraplanagem, monitoramento de progresso, inspeção e monitoramento de segurança do trabalhador, vigilância (segurança patrimonial) e manuseio aéreo de materiais e ferramentas (coleta e entrega de materiais e ferramentas) (Costa; Gheisari; Alarcón, 2022).

Apesar dos benefícios destacados, a utilização de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs) implica em requisitos e limitações que devem ser cuidadosamente ponderados durante o processo de tomada de decisão. Esses elementos são resumidos a seguir, com base na revisão da literatura e na experiência adquirida pelos autores neste estudo:

- (a) dependência das condições climáticas: para operar o drone, é necessário que as condições meteorológicas estejam favoráveis, sem chuva ou ventos fortes. O equipamento utilizado neste estudo monitora as condições climáticas e emite alertas em caso de mudanças abruptas, garantindo a segurança no canteiro de obras;
- (b) limitada autonomia da bateria: a duração da bateria do drone é de 15 minutos, embora duas baterias estejam disponíveis, totalizando 30 minutos de voo. Quando a bateria atinge 30% de carga, o drone emite avisos sonoros e visuais para retornar e pousar em segurança. Em caso de perda de conexão, o drone usa o GPS para retornar automaticamente ao ponto de decolagem. Portanto, é crucial que decolagem ocorra em área aberta e sem obstruções, para garantir pouso seguro em caso de erro de cálculo. O planejamento prévio das rotas e a determinação da quantidade de fotos necessárias são fundamentais para evitar retorno frequentes ao canteiro;
- (c) necessidade de treinamento: profissionais envolvidos devem passar por treinamento obrigatório para operar VANT, incluindo procedimentos de voo e compreensão das regulamentações da ANAC (Agência Nacional de Aviação Civil), ANATEL (Agência Nacional de Telecomunicação) e DECEA (Departamento de Controle do Espaço Aéreo) (ANAC, 2022; Rey, 2020);

- (d) conformidades com regulamentos: para voos até 120m, a ANAC e a ANATEL exigem uma série de documentos, sendo eles:
- homologação e cadastro da aeronave na ANATEL;
 - cadastro emitido junto à ANAC e sua identificação na aeronave;
 - seguro com cobertura de danos a terceiros (exceto das aeronaves de entidades controladas pelo Estado);
 - avaliação de risco; e
 - manual de voo (Rey, 2020).
- (e) além disso, a DECEA faz uma série de recomendações relativas à utilização do espaço aéreo, conforme apresentado por Rey (2020), sendo elas:
- o distanciamento de terceiros, isto é, realizar voos em áreas que a distância horizontal entre a aeronave e as pessoas não envolvidas e não anuentes, seja suficiente para não oferecer riscos à segurança (distância horizontal mínima de 30m);
 - o distanciamento de 30m das edificações (com a anuência do proprietário pode-se realizar operações específicas em distâncias menores); e
 - o respeito ao espaço aéreo de aeroportos e heliportos, sendo necessário que o local de operação do VANT seja fora do raio de 5,4 km do aeroporto para voos de até 30m de altura, e fora do raio de 9 km para voos com altura entre 30m e 120m.

Apesar das limitações e requisitos mencionados anteriormente, levando em conta a precisão alcançada neste estudo e o tempo necessário para gerar os modelos, os Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs) se apresentam como uma alternativa viável para a coleta de dados em projetos já existentes, bem como para o controle de qualidade durante o processo de construção.

Conclusões

Este trabalho teve como objetivo avaliar os procedimentos de desenvolvimento e qualidade de modelo 3D gerado por fotogrametria através de imagens capturadas por drone, comparando-o ao modelo *as-designed* BIM, fazendo uso do software *Autodesk Recap Photo* e 100 imagens. Primeiramente, embora o modelo gerado por fotogrametria (*as-built*) apresente aparência similar ao modelo BIM, ele contém pontos de representação errônea de medidas e da aparência, decorrentes da tentativa do software *Autodesk Recap Photo* de autogerar partes da edificação por ausência de informações suficientes. A precisão foi avaliada a partir da comparação das medidas extraídas do modelo gerado por fotogrametria (*as-built*) e do modelo BIM do edifício (*as-designed*) do software *Autodesk Revit*. O modelo gerado por fotogrametria apresentou erro médio de -1,68%, o que mostra o quão importante são os procedimentos de coleta de dados e como eles podem afetar o resultado, inclusive quanto à precisão. Também, nota-se que apesar das limitações e requisitos, os VANTs são uma alternativa viável para coletar dados em projetos existentes e para controle de qualidade durante a construção, devido à precisão e eficiência. Sugere-se que trabalhos futuros investiguem o uso de diferentes tecnologias para coletar dados para geração de modelo 3D de um mesmo elemento, sendo possível assim verificar quais tecnologias oferecem melhor precisão, os benefícios e limitações em cada uma delas.

Referências

- AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL. **Regulamento Brasileiro da Aviação Civil - RBAC 113**. Disponível em: <http://www.anac.gov.br/participacao-social/audiencias-e-consultas-publicas/audiencias/2015/aud17/anexorbac91.pdf>. Acesso em: 15 mar. 2022.
- ALALOUL, W. S. *et al.* Evolution of close-range detection and data acquisition technologies towards automation in construction progress monitoring. **Journal of Building Engineering**, v. 43, n. June, p. 102877, 2021.
- ÁLVARES, J. S. **Monitoramento visual do progresso de obras com uso de mapeamento 3D de canteiros por VANT e modelos BIM 4D**. Salvador, 2019. 246 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2019.

- AUTODESK. **Perguntas frequentes sobre o Recao Photo**. 2022. Disponível em: <https://www.autodesk.com.br/support/technical/article/caas/sfdcarticles/sfdcarticles/PTB/ReCap-Photo-Frequently-Asked-Questions.html#3>. Acesso em: 17 set. 2023.
- BADUGE, S. K. *et al.* Artificial intelligence and smart vision for building and construction 4.0: machine and deep learning methods and applications. **Automation in Construction**, v. 141, 2022.
- BRAUN, A. *et al.* Improving progress monitoring by fusing point clouds, semantic data and computer vision. **Automation in Construction**, v. 116, 2020.
- CHEN, J. *et al.* Quality evaluation of lightweight realistic 3D model based on BIM forward design. **Computer Communications**, v. 174, p. 75–80, 2021.
- COELHO, P. *et al.* Industry 5.0: the arising of a concept. **Procedia Computer Science**, v. 217, p. 1137–1144, 2023.
- COSTA, D. B.; GHEISARI, M.; ALARCÓN, L. F. UAS Applications to Support Lean Construction Implementation. In: **LEAN Construction 4.0**. Routledge: Taylor & Francis Group, 2022.
- DEZEN-KEMPTER, E. *et al.* Escaneamento 3D a laser, fotogrametria e modelagem da informação da construção para gestão e operação de edificações históricas. **Gestão & Tecnologia de Projetos**, v. 10, n. 2, p. 113, 2015.
- EASTMAN, C. M. *et al.* **BIM handbook: a guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers, and contractors**. 3. ed. New Jersey: Wiley, 2018.
- EKANAYAKE, B. *et al.* Computer vision-based interior construction progress monitoring: a literature review and future research directions. **Automation in Construction**, v. 127, 2021.
- ELKHRACHY, I. Accuracy assessment of low-cost Unmanned Aerial Vehicle (UAV) photogrammetry. **Alexandria Engineering Journal**, v. 60, n. 6, p. 5579–5590, 2021.
- FREIMUTH, H.; KÖNIG, M. Planning and executing construction inspections with unmanned aerial vehicles. **Automation in Construction**, v. 96, p. 540–553, 2018.
- GHOBAKHLOO, M. *et al.* Industry 4.0 ten years on: a bibliometric and systematic review of concepts, sustainability value drivers, and success determinants. **Journal of Cleaner Production**, v. 302, 2021.
- GREESHMA, A. S.; EDAYADIYIL, J. B. Automated progress monitoring of construction projects using Machine learning and image processing approach. **Materials Today: Proceedings**, v. 65, p. 554–563, jan. 2022.
- GROETELAARS, N. J.; AMORIM, A. L. Tecnologia 3D Laser Scanning: características, processos e ferramentas para manipulação de nuvens de pontos. In: CONGRESO DE LA SOCIEDAD IBEROAMERICANA DE GRÁFICA DIGITAL, 15., Santa Fé, 2011. **Proceedings [...]** Santa Fé: SIGRADI, 2011.
- HARDIN, B.; MCCOOL, D. **BIM and construction management: proven tools, methods, and workflows**. 2nd. ed. Indianapolis: Sybex: Wiley Brand, 2015.
- HE, J. *et al.* Mapping topo-bathymetry of transparent tufa lakes using UAV-based photogrammetry and RGB imagery. **Geomorphology**, v. 389, p. 107832, 2021.
- HU, X. *et al.* Smart building demolition and waste management frame with image-to-BIM. **Journal of Building Engineering**, v. 49, n. January, p. 104058, 2022.
- HU, Y. *et al.* Collaborative 3D real modeling by multi-view images photogrammetry and laser scanning: the case study of Tangwei Village, China. **Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage**, v. 21, n. April, p. e00185, 2021.
- HUANG, R. *et al.* Semantics-aided 3D change detection on construction sites using UAV-based photogrammetric point clouds. **Automation in Construction**, v. 134, n. June 2021, p. 104057, 2022.
- JAMES, D. W. *et al.* An innovative photogrammetry color segmentation based technique as an alternative approach to 3D scanning for reverse engineering design. **Computer-Aided Design and Applications**, v. 14, n. 1, p. 1–16, 2017.
- KIRIIAK, N. Development and implementation of technical decision for digital support of construction using photogrammetry methods. **Nuclear Engineering and Design**, v. 381, 2021.

- LIN, J. *et al.* Estimating aboveground biomass of urban forest trees with dual-source UAV acquired point clouds. **Urban Forestry and Urban Greening**, v. 69, n. September 2021, p. 127521, 2022.
- MAHAMI, H. *et al.* Automated progress controlling and monitoring using daily site images and building information modelling. **Buildings**, v. 9, n. 3, 2019a.
- MAHAMI, H. *et al.* Imaging network design to improve the automated construction progress monitoring process. **Construction Innovation**, v. 19, n. 3, p. 386–404, 6 jun. 2019b.
- MANDIROLA, M. *et al.* Use of UAS for damage inspection and assessment of bridge infrastructures. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, v. 72, n. August 2021, p. 102824, 2022.
- MELO JÚNIOR, C. M. *et al.* Geração de mapas de danos de fachadas de edifícios por processamento digital de imagens capturadas por Vant e uso de fotogrametria digital. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 18, n. 3, p. 211–226, jul./set. 2018.
- MHMOUD ALZUBI, K. *et al.* Automated monitoring technologies and construction productivity enhancement: Building projects case. **Ain Shams Engineering Journal**, v. 14, n. 8, p. 102042, 2022.
- NAPPO, N. *et al.* Use of UAV-based photogrammetry products for semi-automatic detection and classification of asphalt road damage in landslide-affected areas. **Engineering Geology**, v. 294, n. October 2020, p. 106363, 2021.
- NEX, F. *et al.* UAV in the advent of the twenties: where we stand and what is next. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 184, n. December 2021, p. 215–242, 2022.
- PEPE, M. *et al.* Data for 3D reconstruction and point cloud classification using machine learning in cultural heritage environment. **Data in Brief**, v. 42, p. 108250, 2022.
- PREGNOLATO, M. *et al.* Towards Civil Engineering 4.0: Concept, workflow and application of Digital Twins for existing infrastructure. **Automation in Construction**, v. 141, 2022.
- QURESHI, A. H. *et al.* Factors impacting the implementation process of automated construction progress monitoring. **Ain Shams Engineering Journal**, v. 13, n. 6, p. 101808, 2022.
- RAO, A. S. *et al.* Real-time monitoring of construction sites: Sensors, methods, and applications. **Automation in Construction**, v. 136, p. 104099, 2022.
- REGONA, M. *et al.* Opportunities and Adoption Challenges of AI in the Construction Industry: A PRISMA Review. **Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity**, v. 8, n. 1, 2022.
- REJA, V. K.; VARGHESE, K.; HA, Q. P. Computer vision-based construction progress monitoring. **Automation in Construction**, v. 138, n. June, p. 104245, 2022.
- REY, R. **Sistema informatizado para inspeção da segurança em canteiros de obra apoiado por VANT, dispositivos móveis e técnicas de reconhecimento de padrão**. Salvador, 2020. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2020.
- SUN, J. *et al.* Building displacement measurement and analysis based on UAV images. **Automation in Construction**, v. 140, p. 104367, 2022.
- TAN, Y. *et al.* Mapping and modelling defect data from UAV captured images to BIM for building external wall inspection. **Automation in Construction**, v. 139, p. 104284, 2022.
- TANG, P. *et al.* Automatic reconstruction of as-built building information models from laser-scanned point clouds: a review of related techniques. **Automation in Construction**, v. 19, n. 7, p. 829–843, 2010.
- 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., Rio de Janeiro, 2019. **Anais [...]** Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, 2019.
- TERZIS, D. Monitoring innovation metrics in construction and civil engineering: trends, drivers and laggards. **Developments in the Built Environment**, v. 9, p. 100064, 2022.
- TOSCHI, I. *et al.* Oblique photogrammetry supporting 3D urban reconstruction of complex scenarios. In: INTERNATIONAL ARCHIVES OF THE PHOTOGRAMMETRY, REMOTE SENSING AND SPATIAL INFORMATION SCIENCES, XLII-1/W1, Hannover, 2017. **Proceedings [...]** Hannover, 2017.

- WANG, H. *et al.* Semi-automated model matching using version difference. **Advanced Engineering Informatics**, v. 23, n. 1, p. 1–11, 2009.
- WESTOBY, M. J. *et al.* “Structure-from-Motion” photogrammetry: a low-cost, effective tool for geoscience applications. **Geomorphology**, v. 179, p. 300–314, 2012.
- WU, J. *et al.* Rapid safety monitoring and analysis of foundation pit construction using unmanned aerial vehicle images. **Automation in Construction**, v. 128, 2021.
- YANG, B. *et al.* Approaches for exploration of improving multi-slice mapping via forwarding intersection based on images of UAV oblique photogrammetry. **Computers and Electrical Engineering**, v. 92, n. February, p. 107135, 2021.
- YANG, J. *et al.* Construction performance monitoring via still images, time-lapse photos, and video streams: Now, tomorrow, and the future. **Advanced Engineering Informatics**, v. 29, n. 2, p. 211–224, 2015.
- ZHANG, J. *et al.* BIM-based architectural analysis and optimization for construction 4.0 concept (a comparison). **Ain Shams Engineering Journal**, p. 102110, 2023.
- ZHAO, S. *et al.* Structural health monitoring and inspection of dams based on UAV photogrammetry with image 3D reconstruction. **Automation in Construction**, v. 130, n. July, p. 103832, 2021.

Rayara Pinto Costa

Conceitualização, Pesquisa, Metodologia, Análise de dados, Design da apresentação de dados, Redação do manuscrito Original, Redação - revisão e edição.

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Construção e Infraestrutura | Universidade Federal do Rio Grande do Sul | Av. Osvaldo Aranha, 99, Centro | Porto Alegre - RS - Brasil | CEP 90035-190 | Tel.: (51) 3308-3518 | E-mail: rayarapintocosta@gmail.com

Luara Lopes de Araujo Fernandes

Conceitualização, Pesquisa, Metodologia, Análise de dados, Design da apresentação de dados, Redação do manuscrito Original, Redação - revisão e edição.

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil | Universidade Federal da Bahia | Rua Aristides Novis, 02, 5º andar, Federação | Salvador - BA - Brasil | CEP 40210-630 | Tel.: (71) 3283-9725 | E-mail: luara.fernandes@gmail.com

Luís Filipe Muta

Conceitualização, Redação do manuscrito Original, Redação - revisão e edição.

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil | Universidade Federal de Santa Catarina | Rua João Pio Duarte Silva, Córrego Grande | Florianópolis - SC - Brasil | CEP 88040-900 | Tel.: (48) 3721-3021 | E-mail: luis.muta@posgrad.ufsc.br

Eduardo Luis Isatto

Conceitualização, Supervisão, Redação do manuscrito Original, Redação - revisão e edição.

Departamento de Engenharia Civil | Universidade Federal do Rio Grande do Sul | E-mail: isatto@ufrgs.br

Dayana Bastos Costa

Conceitualização, Supervisão, Disponibilização de ferramentas, Redação do manuscrito Original, Redação - revisão e edição.

Departamento de Construção e Estruturas | Universidade Federal da Bahia | Telefone: (71) 3283-9731 | E-mail: dayanabcosta@ufba.br

Editora: Edna Possan

Ambiente Construído

Revista da Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído

Av. Osvaldo Aranha, 99 - 3º andar, Centro

Porto Alegre - RS - Brasil

CEP 90035-190

Telefone: +55 (51) 3308-4084

www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido

www.scielo.br/ac

E-mail: ambienteconstruido@ufrgs.br



This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License.