

Uso de fotogrametria para escaneamento de edificações com fachadas obstruídas para modelagem BIM AS-IS

Use of photogrammetry scanning for obstructed facades buildings to AS-IS BIM modeling purposes

GONÇALVES, Sarah¹; REIS, João Vitor²; ALVES, Arthur³; FERNANDES, Ana Maciel⁴
sarah.diniz@ufu.br¹; joao.vitorreis@ufu.br²; arthuralemos@gmail.com³; anamaciel@ufu.br⁴

¹Engenharia Civil, FECIV/UFU, Uberlândia/MG - Brasil

²Mestre em Construção Civil, UFU, Uberlândia/MG - Brasil

³Agronomia, ICIAG/UFU, Uberlândia/MG – Brasil

⁴Doutora em Construção Civil, UFU, Uberlândia/MG – Brasil

Informações do Artigo

Palavras-chave:

Fotogrametria

BIM as is

Escaneamento de
edificações

Drone

Keyword:

Photogrammetry

As is BIM modeling

Building scanning

Drone

Resumo:

O uso da Modelagem da Informação da Construção (BIM) para representação de edificações existentes, especialmente por meio da modelagem as is, tem sido apontada como fundamental para atividades de operação, manutenção e retrofit. Contudo, a criação desses modelos enfrenta desafios significativos, sobretudo em edificações com fachadas obstruídas, onde métodos tradicionais de medição são imprecisos ou inviáveis. Neste contexto, a fotogrametria surge como alternativa acessível e de baixo custo para a geração de nuvens de pontos tridimensionais, mesmo em condições adversas. Este estudo teve como objetivo avaliar a viabilidade da fotogrametria, com drones, para o escaneamento de edificações com fachadas parcialmente obstruídas, visando sua posterior modelagem BIM as is. A metodologia adotada foi o estudo de caso aplicado aos blocos 1Y e 5E da Universidade Federal de Uberlândia, a partir de cinco planos de voo distintos e processamento das imagens na plataforma WEBODM. Os resultados indicam que, mesmo diante de obstruções visuais significativas, é possível obter nuvens de pontos com nível de detalhe adequado para modelagem geométrica da envoltória das edificações. Conclui-se que a fotogrametria é uma técnica viável para escaneamento de edificações com fachadas parcialmente obstruídas, sendo uma solução promissora para ampliar o uso do BIM em edificações existentes.

Abstract

The use of Building Information Modeling (BIM) for representing existing buildings, especially through as-is modeling, has been identified as fundamental for operation, maintenance, and retrofit activities. However, the creation of such models faces significant challenges, particularly in buildings with obstructed façades, where traditional measurement methods are inaccurate or unfeasible. In this context, photogrammetry emerges as an accessible and low-cost alternative for generating three-dimensional point clouds, even under adverse conditions. This study aimed to evaluate the feasibility of photogrammetry, using drones, for scanning buildings with partially obstructed façades, targeting their subsequent BIM as-is modeling. The methodology adopted was a case study applied to

blocks 1Y and 5E of the Federal University of Uberlândia, based on five distinct flight plans and image processing with the WEBODM platform. The results indicate that, even with significant visual obstructions, it is possible to obtain point clouds with a suitable level of detail for geometric modeling of building envelopes. It is concluded that photogrammetry is a viable technique for scanning buildings with partially obstructed façades, representing a promising solution to expand the use of BIM in existing buildings.

1. Introdução

A Modelagem da Informação da Construção (BIM) tem se consolidado como uma importante ferramenta no ciclo de vida das edificações, desde o projeto até a fase de operação e manutenção. Segundo Eastman *et al.* [1], o BIM representa uma abordagem baseada em modelos tridimensionais inteligentes, que permite a criação, organização e uso de informações integradas durante todo o ciclo de vida de um empreendimento. No entanto, grande parte das construções no Brasil carecem de documentação técnica atualizada, tornando desafiadora a criação de modelos as is — modelos que representam fielmente o estado atual da edificação. Esse desafio é particularmente acentuado em edificações com fachadas obstruídas por vegetação ou construções vizinhas, que dificultam a aplicação de métodos tradicionais de levantamento, como trenas, medidores a laser ou até mesmo escaneamento com laser scanner.

A literatura tem apontado a crescente necessidade de soluções acessíveis e eficientes para a obtenção de modelos BIM de edificações existentes, especialmente no contexto de retrofit, manutenção e gestão patrimonial [2];[3]. Neste contexto a fotogrametria tem ganhado destaque como alternativa de baixo custo, utilizando imagens capturadas por drones para geração de nuvens de pontos tridimensionais. Essa técnica tem se mostrado promissora por sua portabilidade, facilidade de uso e capacidade de registrar áreas de difícil acesso [4]. Estudos mais recentes reforçam a aplicação de fotogrametria aliada a modelagem as is em contextos urbanos e edificações com

obstáculos físicos, utilizando VANTs (veículo aéreo não tripulado) e sensores visuais para superar limitações técnicas [5];[6].

Novas metodologias incorporadas à indústria AECO (Arquitetura, Engenharia, Construção e Operações) incentivam e possibilitam o desenvolvimento da manutenção preventiva, e entre as novas tendências de gestão, surge a metodologia BIM-FM (Building Information Modeling – Facilities and management), que busca gerir o funcionamento das edificações por meio da integração de pessoas, espaços, processos e tecnologias para o desenvolvimento bem-sucedido das atividades de operação e manutenção ao longo de todo o ciclo de vida da edificação [3].

Para a aplicação dessa metodologia, é essencial possuir um modelo da edificação que represente seu estado atual. Schönfelder [7] conceitua em seu estudo que, após a conclusão da construção, há a transição do modelo as built (como construído) para o modelo as is (como está), que deve ser atualizado durante todo o ciclo de vida da edificação. Esse modelo é uma versão atualizada do modelo as built, incrementada sempre que ocorrerem modificações na edificação em operação, representando sua versão mais atual.

O modelo as is é especialmente adequado para operação e manutenção [2], no entanto, ter um modelo que represente o estado atual de uma edificação é frequentemente um processo desafiador, demorado e sujeito a erros, principalmente quando realizado com o uso de ferramentas de medição tradicionais como medidores de distância a laser, câmeras digitais e fitas métricas [8];[9]. Em resposta a

demandas por métodos eficientes e confiáveis para a criação de modelos BIM assim, novas tecnologias vêm sendo estudadas para o processo de escaneamento de uma edificação.

Dentre as possibilidades dessas novas tecnologias, a fotogrametria tem-se destacado como uma solução portátil de baixo custo e menor exigência de habilidade dos usuários, em comparação a outros métodos de escaneamento. Realizado a partir de levantamento fotográfico, com qualquer equipamento que capture imagens com capacidade de identificação de pontos de referência comuns em duas ou mais fotografias, adicionado ao cálculo de posições, orientações e distorções da câmera, e reconstrução de informações tridimensionais. O resultado desse processo é uma nuvem de pontos criada a partir da construção de uma malha 3D, que pode ser exportada para ambientes de modelagem BIM e utilizada como referência para modelagem manual ou para gerar malhas e outras geometrias. As informações espaciais capturadas são precisas em milímetros e refletem alto nível de detalhe devido à alta resolução de pontos [10]. Barazzetti [11] reforça que a parametrização de modelos BIM a partir de nuvens de pontos fotogramétricas exige técnicas robustas de reconstrução e calibração, principalmente quando há interferência visual e irregularidades geométricas.

Apesar de poder ser realizado por qualquer equipamento de registro fotográfico, para Rizo-Maestre *et al* [4] a utilização de veículos aéreos não tripulados para fotogrametria tem sido impulsionada por três características: a melhoria dos equipamentos que atualmente possuem mais estabilidade, maior qualidade de captura e facilidade de configuração de planos de voo; resultados de processamento com maior qualidade proveniente das melhorias dos equipamentos; e valor acessível para aquisição. Constanza [3] acrescenta a possibilidade de registro de áreas de difícil acesso, porém, para o processamento de boa qualidade, é importante garantir bons registros fotográficos e atentar-

se às condições ambientais do local. Complementarmente, López *et al.* [12] destacam que o emprego da fotogrametria em ambientes patrimoniais e urbanos requer cuidados específicos com a geometria e a textura, visando a precisão da modelagem assim.

De acordo com Armesto *et al.* [13], deve-se garantir iluminação adequada do objeto a ser fotografado, evitando sombras, reflexos, superexposição e outras condições que possam atrapalhar os registros, sendo importante a garantia de sobreposição de pelo menos 50% entre as imagens para a criação de pares estereos, formados pela sequenciação de registros fotográficos com pequenos deslocamentos, assim como desviar de obstáculos como vegetação, veículos, móveis e pessoas. Para Klein [10], muitos dos desafios ambientais enfrentados pelos levantamentos fotogramétricos podem ser reduzidos ou eliminados por meio de um planejamento adequado de voo, priorizando registros durante um curto período de tempo, de forma a minimizar a variação ambiental, adicionar marcadores visuais, alterar a angulação de captura e planejar diferentes formas de voo e captura.

O uso da fotogrametria em contextos com fachadas parcialmente obstruídas ainda demanda investigação, especialmente quanto à qualidade das nuvens de pontos geradas e à viabilidade prática da modelagem BIM a partir desses dados. A maioria dos estudos existentes trata de ambientes controlados ou livres de interferências visuais [10];[9], havendo uma lacuna sobre sua aplicação em cenários reais com obstáculos naturais ou urbanos.

Desta forma, este estudo tem como objetivo avaliar a viabilidade do uso da fotogrametria, por meio de drones, para a geração de nuvens de pontos de edificações com fachadas obstruídas, visando sua posterior modelagem BIM assim. Para isto, foi conduzido um estudo de caso nos blocos 1Y e 5E do Campus Santa Mônica da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), cujas fachadas

apresentam obstruções por árvores de grande porte. A pesquisa adota a abordagem metodológica de estudo de caso, conforme diretrizes de Yin [14], com aplicação de múltiplos planos de voo e análise comparativa da qualidade das nuvens geradas.

2. Metodologia

Esta pesquisa adotou o método de estudo de caso como abordagem metodológica, por se tratar de uma investigação empírica que busca compreender um fenômeno contemporâneo dentro de seu contexto real [13]. A escolha do estudo de caso como abordagem metodológica justifica-se pela necessidade de explorar, em profundidade, uma situação específica onde o fenômeno da obstrução de fachadas interfere diretamente na eficiência do processo de escaneamento e modelagem. Segundo Yin [13], estudos de caso são apropriados quando se pretende responder a questões do tipo “como” e “por que”, além de permitir a observação direta do contexto.

Este estudo foi estruturado em cinco etapas principais, conforme fluxograma da Figura 01.

Figura 01 – Fluxograma da metodologia.



Fonte: Autores.

As etapas do fluxograma apresentado são definidas:

1. Definição do objeto de estudo: escolha do Bloco 1Y da UFU, com base em sua acessibilidade e nas características físicas desafiadoras (fachadas obstruídas);
2. Planejamento da coleta de dados: desenvolvimento de planos de voo utilizando a plataforma Drone Harmony,

com variação de altura, ângulo e tipo de trajetória;

3. Execução dos voos com drone e processamento de imagens: foram realizados cinco voos, com diferentes estratégias para capturar imagens representativas da envoltória da edificação, após esse processo, foi realizado o processamento de imagens a partir do software WEBODM, responsável pela geração das nuvens de pontos tridimensionais;
4. Análise dos resultados: avaliação da qualidade das nuvens geradas e verificação da viabilidade da modelagem BIM a partir dos dados obtidos.

2.1 Definição do objeto de estudo

O objeto de estudo foi o Bloco 1Y do Campus Santa Mônica da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), edificação que apresenta fachadas parcialmente obstruídas por vegetação densa, ilustrado na Figura 02, o que representa um desafio prático para levantamentos fotogramétricos e modelagem BIM *as is*. A seleção do objeto de estudo ocorreu por facilidade de acesso e relevância técnica, visto que a edificação não possui documentação atualizada, sendo representativa de um problema recorrente em instituições públicas e edificações antigas. O estudo visou avaliar a viabilidade da aplicação da fotogrametria com drones para gerar nuvens de pontos tridimensionais, mesmo diante das limitações impostas pelos obstáculos visuais.

Figura 02 – Fachada do Bloco 1Y.



Fonte: Autores.

2.2 Planejamento de coleta de dados

Na sequência iniciou-se a criação dos planos de voo no ponto principal de análise, realizados na plataforma Drone Harmony, para na sequência realizar os voos com o drone. Após esse processo, as fotografias captadas foram processadas na plataforma WEBODM, para gerar a nuvem de pontos. Em um ambiente externo com obstruções é esperado que um único voo não seja suficiente para captar todos os detalhes da envoltória, assim, após verificação da nuvem de pontos processadas, novos voos são propostos para a correção e melhoria nos resultados. O fluxo desta coleta de dados é apresentado na Figura 03.

Figura 03 – Fluxograma do plano de voo.



Fonte: Autores.

2.2.1 Drone

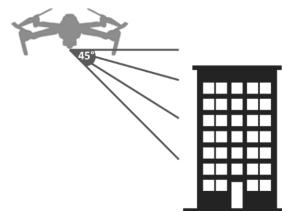
Para este estudo foi utilizado o drone modelo DJI Mavic Mini 2. Os planos de voos foram realizados na plataforma *online* Drone Harmony, que possui interface amigável e intuitiva, onde foram configuradas a área de captura, altura do voo, tipo de rota e ângulo de captura, explicados na sequência, aonde o aplicativo retorna automaticamente com um plano de voo.

- Área de Captura: a interface do Drone Harmony possui visualização de satélite do Google Maps, utilizado para criar um polígono em torno da área de voo;
- Altura do voo: é configurada para evitar colisão do equipamento com obstáculos e garantir boa qualidade de captura em relação a tempo de voo e quantidades de imagens;
- Rota do voo: foi utilizado voos em modo orbital, onde o drone voa em trajetos circulares sobre a área de interesse; e em modo horizontal, onde se tem uma visão

paralela da edificação facilitando a visão detalhada de cada fachada.

- Ângulo de captura: é o ângulo que a câmera acoplada ao drone fica durante o voo. Na Figura 04 é possível visualizar um esquema que demonstra os ângulos de captura.

Figura 04 – Ângulo de captura de câmera.



Fonte: Autores.

Como análise comparativa, foi realizado um voo de referência utilizando o plano de voo orbital com câmera angulada a -45° da fachada posterior do bloco 1Y no campus Santa Mônica, visto que essa é pouca obstruída; a fim de demonstrar a relevância dos obstáculos para o processamento e a qualidade do mapeamento.

2.3 Execução dos voos com drone e processamento de imagem

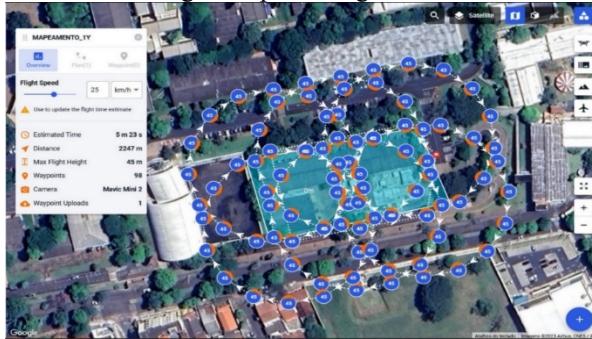
2.3.1 Primeiro voo

Para verificar o método da fotogrametria e escolher os *softwares* de processamentos das imagens, foi realizado o primeiro voo passando por todas as fachadas da edificação no modo orbital com angulação de -45° e altura de voo de 45 metros, onde o drone voa em trajetos circulares sobre a área de interesse. O voo orbital associado a angulação da câmera permite boa captura de imagens das fachadas e sobreposição de fotos adequada. Visto que a localização possuía muitas árvores grandes, foi necessária maior altura de voo para segurança do equipamento.

Ao final das configurações foi possível visualizar o resumo do plano de voo (Figura 05) gerado na plataforma, com estimativa de 5 minutos de voo para registro de 98 fotografias. Esses resultados foram considerados adequados pois tempos longos

de voo exigem trocas de baterias e muitos arquivos de fotos geram delongado processamento de imagens. Quanto maior a altura de voo maior será a área de captura com menor quantidade de fotografias, porém perde-se qualidade das imagens, por isso a análise das configurações de voo dentro da plataforma Drone Harmony é essencial.

Figura 05 – Resumo do plano de voo para registro fotografias para fotogrametria.



Fonte: Autores.

O plano de voo foi carregado no drone e então realizado o sobrevoo sobre o bloco, sendo possível acompanhar o registro das fotografias em tempo real (Figura 06). Cada fotografia teve sua localização geográfica registrada por meio do GPS (*Global Positioning System*) nativo do equipamento.

Figura 06 – Monitoramento de voo e registro de fotografias.



Fonte: Autores.

Para o processamento das imagens foi utilizada a plataforma WEBODM que gerou a nuvem de pontos, a qual pode ser visualizada

na Figura 07 juntamente com a interface da plataforma WEBODM.

Figura 07 – Interface da Plataforma WEBODM e nuvem de pontos do 1º voo.



Fonte: Autores.

2.3.2 Segundo e terceiro voo

Levando em consideração que a formação da nuvem de pontos ocorre com a junção de informação das imagens, novos planos de voos foram sugeridos, a fim de adquirir imagens mais representativas da estrutura, evitando obstáculos como as árvores e o telhado. Desse modo, a modelagem *as is* seria mais fidedigna pois a envoltória da edificação estaria com todas as informações necessárias. Foram adotados os planos de voo apresentados na Tabela 1.

Tabela 01 – Segundo e terceiro plano de voo para sobreposição.

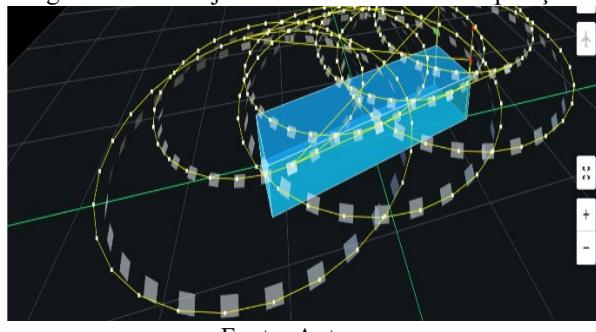
Nº do voo	Ângulo da Câmera	Altitude	Rota do voo	Quant. de Imagens
2	-30°	30 metros	Orbital (raio de 60 metros)	30 fotos por orbita
3	-45°	20 metros	Orbital (raio de 40 metros)	30 fotos por orbita

Fonte: Autores.

O segundo e terceiro planos de voo foram adotados em sobreposição, um com câmera angulada a -30°, raio orbital de 60 metros, altitude de voo de 30 metros com 30 fotos por orbita, o segundo com angulação de câmera de -45°, raio orbital de 40 metros e altitude de voo de 20 metros com 30 fotos por orbita. Na

Figura 08 é possível visualizar a interface da plataforma Drone Harmony com os planos de voos.

Figura 08 – Planejamento de voo com sobreposição.

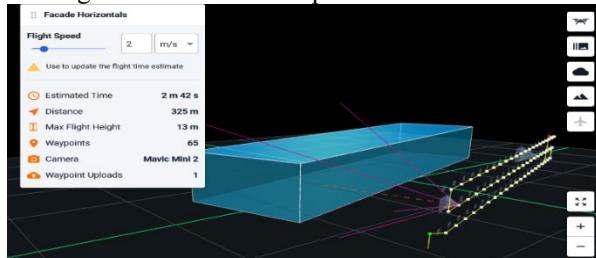


Fonte: Autores.

2.3.3 Quarto voo

Uma nova estratégia de aquisição de imagens foi testada, utilizando a ferramenta de mapeamento de fachadas em voo horizontal do *software* DroneHarmony. Para isso foi adotado um voo com início de mapeamento a 1 metro de altura do solo, altitude delta vertical de 5 metros, altitude delta horizontal de 5 metros e distância da estrutura de 25 metros, a fim de evitar a colisão do equipamento com os obstáculos. A nova estratégia visou adquirir imagens apenas da fachada desejada, com imagens paralelas a estrutura a fim de evitar o sombreamento causado pelo telhado e copas das árvores. Desse modo, fez-se necessário a captura horizontal de cada fachada e o plano desses voos pode ser visualizado na Figura 09.

Figura 09 - Plano de mapeamento em fachada.



Fonte: Autores.

2.3.4 Quarto voo

Tendo em vista os obstáculos observados nos voos anteriores, foi adotado uma nova

abordagem referente a captura das imagens para geração da nuvem de pontos. Seguindo recomendações dos softwares de processamento, para o quinto voo foi utilizada captura de vídeo para geração do modelo 3D. O drone foi controlado manualmente sem seguir um plano previamente determinado, tentado acompanhar ao máximo a fachada frontal da estrutura (mais prejudicada pelas árvores). Assim, o software de processamento extrai frames do vídeo em um intervalo pré-determinado nos parâmetros de processamento.

Para superar as limitações impostas pelos hardwares à disposição para processamento dos arquivos de vídeo, foi utilizado a plataforma Google Clouds, para criação de uma máquina virtual, com definições de hardware e sistema operacional definidos no momento de sua criação, a saber, 68gb de memória ram, 1TB de memória interna em SSD, 8 cores de processamento Intel, superando as recomendações básicas de hardware oferecidas pelo desenvolvedor do WebODM.

3. Análise e discussão dos resultados

Neste estudo foram realizados cinco voos com drone a fim de conseguir uma nuvem de pontos da envoltória de uma edificação existente com fachada parcialmente obstruída que fosse fidedigna o suficiente para construção de um modelo *as is* desta.

O primeiro voo, com plano orbital e câmera inclinada a -45°, resultou em uma nuvem de pontos com boa representação da fachada posterior, pouco obstruída, com processamento das imagens resultando em uma boa modelagem e visualização, principalmente na região posterior do Bloco 1Y, apesar da sombra na fachada no momento de registro das fotografias, e do Bloco 5E (localizado ao fundo do Bloco 1Y), por não haver interferências visuais. A fachada frontal e as laterais do Bloco 1Y foram afetadas significativamente devido a presença de árvores, tendo como resultado regiões com

furos e distorções. Os melhores resultados foram para os telhados. Desse modo, as fachadas frontal e laterais apresentaram falhas significativas, como lacunas e distorções, causadas pelas copas das árvores — o que corrobora com Armesto *et al.*[13], que destacam a influência de interferências visuais na perda de dados durante o processamento fotogramétrico. O resultado da nuvem de pontos pode ser observado na Figura 10.

Figura 10 - Resultado da Nuvem de Pontos do primeiro voo.



(a) Visão geral da Nuvem de Pontos



(b) Região sem processamento devido obstrução das árvores

Fonte: Autores.

O segundo e terceiro voos foram baseados em mais de um plano de voo com angulações e alturas diferentes sugerida pelo manual de mapeamento desenvolvido pelo software WebDOM. O resultado do processamento atingiu maior número de pontos reconstruídos, a fachada frontal apresentou melhor resultado comparativamente ao primeiro voo, no entanto, as árvores localizadas no canteiro em frente ao bloco ainda apresentaram um desafio a ser superado. Assim, a qualidade da nuvem teve considerável melhoria ao aumentar a sobreposição das imagens, principalmente na região frontal. Essa estratégia está alinhada com as recomendações de Constanza *et al.*[3], que enfatizam a importância da variação de parâmetros para mitigar os efeitos da

obstrução. O resultado da sobreposição desses voos é apresentado na Figura 11.

Figura 11 - Nuvem de pontos gerada após segundo e terceiro voo.



Fonte: Autores.

O quarto voo foi baseado em um mapeamento horizontal de fachadas, sendo cada fachada fotografada separadamente. Apesar de apresentar resultado mais satisfatório em relação ao detalhamento quando comparado a voos orbitais, o plano de fachada também apresenta dificuldades em áreas com obstáculos, devido a necessidade de maior distância da área mapeada, uma vez que os obstáculos não permitiram um voo em paralelo com a edificação a fim de capturar os detalhes desejados, o que reduziu a precisão em regiões críticas e dificultou o alinhamento das imagens — uma limitação já apontada por Klein *et al.*[10] em levantamentos urbanos com vegetação assimétrica. Ainda, o trajeto traçado pelo drone implica na necessidade do isolamento do tráfego para realização da tarefa, aumentando a carga operacional empregada no mapeamento.

Assim, pode ser uma opção quando os obstáculos estiverem paralelos uns aos outros, no entanto, no caso estudado, a assimetria no posicionamento das árvores que bloqueiam a fachada exigiu um mapeamento capaz de se adaptar ao terreno. Além disso, o processamento de diferentes planos de voo para integração em uma única nuvem de pontos fez com que a qualidade do processamento não fosse tão boa quanto o almejado, devido às limitações impostas pelo software. O resultado da nuvem de pontos pode ser observado na Figura 12.

Figura 12 - Nuvem de pontos gerada a partir do quarto plano de voo.



Fonte: Autores.

O quinto voo utilizando captura de vídeo e controle manual apresentou resultados satisfatórios, uma vez que o uso de vídeo permite que o operador se preocupe exclusivamente com os obstáculos, sem a necessidade de capturar as fotos com sobreposições que permitam o processamento. Apesar de processamento mais lento e a necessidade de *hardware* mais potente, para a captura em ambientes obstruídos é uma vantagem a ser explorada. Os resultados apresentaram maior alcance de detalhes, tendo sido possível visualizar o interior da edificação e alguns pontos específicos da estrutura. A sobreposição alcançada foi satisfatória tendo em vista a extração seletiva de imagens pelo *software*, sendo necessária atenção a velocidade de voo, evitando voos rápidos ou com muitas interrupções, a fim de garantir a extração concisa de imagens para o processamento. Como indicado por Jung *et al.* [9], para aplicações que exigem precisão milimétrica e georreferenciamento, a ausência de GCPs (*Ground Control Points*) pode limitar o uso técnico da nuvem de pontos gerada. O resultado do quinto voo pode ser observado na Figura 13.

Figura 13 - Nuvem de pontos gerada a partir do quinto plano de voo.



(a) visão da nuvem de pontos da fachada frontal



(b) visão interna da fachada frontal

Fonte: Autores.

A partir dos resultados, comparativamente ao voo de referência da fachada posterior, percebe-se que áreas não obstruídas apresentam resultados satisfatórios do mapeamento, com modelo texturizado corrigindo possíveis imperfeições da nuvem de pontos, apresentando falhas apenas em áreas vazias, como apresentado na Figura 14.

Figura 14 - Visão da fachada posterior sem obstáculos.



Fonte: Autores.

A precisão das nuvens de pontos permitiu a reconstrução tridimensional da geometria externa da edificação, fornecendo base para o desenvolvimento de projetos e análises dentro

do ambiente BIM. O resultado da modelagem *as is* pode ser visualizado na Figura 15.

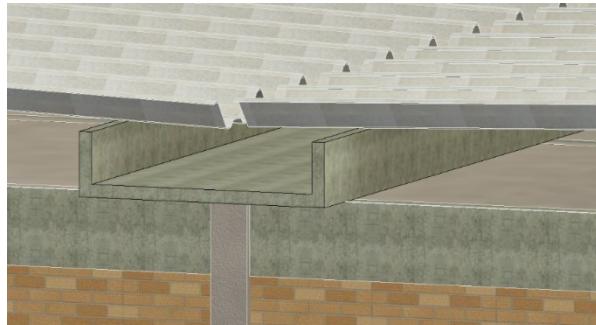
Figura 15 - Modelagem *as is* a partir da nuvem de pontos.



Fonte: Autores.

A fotogrametria também foi útil para a visualização de telhados e fachadas em áreas livres de vegetação densa. Mesmo que falhas tenham sido observadas, foi possível identificar detalhes e modelos construtivos importantes, tais como características dos telhados e materiais das fachadas. Um detalhe construtivo do telhado construído no modelo *as is* a partir dos resultados da nuvem de pontos pode ser visualizado na Figura 16.

Figura 16 - Modelagem *as is* da calha central do telhado.



Fonte: Autores.

Comparando os diferentes voos, observou-se que a presença de obstáculos compromete significativamente a geração de nuvens de pontos contínuas e detalhadas. No entanto, com ajustes nos parâmetros de voo (altitude, ângulo de câmera e tipo de trajetória) e uso de estratégias complementares (como vídeo), é possível obter modelos suficientemente precisos para aplicações práticas de manutenção, *retrofit* e gestão. Trabalhos recentes, como os de Alba

et al. (2020) e Masiero *et al.* (2019), demonstram abordagens complementares que também combinam fotogrametria com estratégias adaptativas de voo para contornar interferências, confirmando a relevância da metodologia adotada neste estudo.

Estudos como os de Volk *et al.* [15] e Bortoluzzi *et al.* [2] confirmam que a modelagem BIM *as is* em ambientes reais enfrenta desafios operacionais e tecnológicos, sendo a fotogrametria uma solução viável desde que adaptada ao contexto da edificação. Os resultados aqui obtidos confirmam essa viabilidade, desde que sejam adotadas medidas para mitigar a perda de dados, como voos múltiplos, captação em horários adequados e uso de plataformas com capacidade de processamento adequada.

4. Considerações finais

O objetivo deste estudo foi verificar se a fotogrametria pode ser uma técnica acessível, de baixo custo e fácil manuseio para capturar nuvens de pontos para modelagem BIM *as is* de edificações existentes, especialmente em casos de fachadas parcialmente obstruídas. Para isso foi desenvolvido um estudo de caso para o Bloco 1Y e 5E do Campus Santa Mônica da Universidade Federal de Uberlândia (Brasil), blocos cuja envoltória é marcada pela presença de árvores de grande porte, tendo sido necessária a aplicação de cinco planos de voo, sendo o segundo e terceiro sobrepostos. Pode-se concluir, com este estudo, que para modelagem BIM de fachadas de edificações existentes com baixa complexidade de detalhes o uso da fotogrametria isolada mesmo com bloqueios é viável.

As nuvens de pontos geradas a partir deste estudo se apresentaram como adequadas para a construção do modelo BIM *as is* das edificações. No entanto, o processo de aquisição final das imagens foi impactado pela presença da vegetação no entorno da edificação, o que dificultou a mobilidade do drone e causou sombreamento nas nuvens de

pontos geradas. Essas interferências resultaram em algumas lacunas na qualidade das imagens capturadas, afetando a precisão final do modelo fotogramétrico. Ainda, verificou-se a necessidade de softwares e equipamentos capazes de realizar os processamentos das imagens para a construção da nuvem de pontos, sendo um dos desafios enfrentados, pois é preciso conhecimento técnico especializado e hardwares de alto desempenho.

Conclui-se que a fotogrametria é uma tecnologia acessível a diferentes públicos, visto que os equipamentos utilizados são de baixo custo e facilmente disponíveis para compra. Esses dispositivos podem ser empregados tanto para finalidades técnicas, como para a construção de modelos BIM *as is* de edificações, quanto para atividades recreativas, como a captura de fotos e vídeos. A simplicidade do processo de captura e a disponibilidade dos equipamentos tornam a fotogrametria uma ferramenta democrática e acessível a profissionais de diversas áreas.

Para um estudo envolvendo o uso de drones é importante avaliar, previamente, o nível de detalhe e a finalidade do uso da fotogrametria. No contexto desta pesquisa, as técnicas adotadas atenderam às necessidades de visualização do telhado e das fachadas da edificação, permitindo a verificação de medidas e detalhes. Contudo, para estudos que exigem nível elevado de detalhe, como aqueles voltados para construções históricas (HBIM), a utilização de tecnologias combinadas, como o laser scanner se torna mais interessante para alcançar resultados mais satisfatórios.

Sugere-se que futuras pesquisas explorar a combinação de tecnologias, como o uso de fotogrametria aliada ao laser scanner. A fusão dessas duas técnicas pode gerar nuvens de pontos mais detalhadas e precisas, em áreas de difícil acesso ou com vegetação densa, onde a fotogrametria tradicional apresenta limitações.

5. Agradecimentos

À Universidade Federal de Uberlândia (UFU) e a Faculdade de Engenharia Civil (FECIV) pelo ensino de qualidade. E à Fapemig pelo apoio financeiro.

6. Referências

- [1] EASTMAN, C. *et al. Manual de BIM*. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2021.
- [2] BORTOLUZZI, B. *et al. Automating the creation of building information models for existing buildings*. Automation in Construction, v. 105, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.102838>
- [3] CONSTANZA, J. B. *et al. Implementation of Facility Management for Port Infrastructure through the use of UAVs, Photogrammetry and BIM*. Sensors, v. 21, n. 19, p. 6686, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/s21196686>.
- [4] RIZO-MAESTRE, C. *et al. UAV + BIM: Incorporation of photogrammetric techniques in architectural projects with Building Information Modeling versus classical work processes*. Remote Sensing, v. 12, n. 14, p. 2329, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs12142329>
- [5] ALBA, M.; FREGONESE, L.; SCAIONI, M. *3D modelling of complex building structures using close-range photogrammetry and UAV*. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, v. XLIII-B2, p. 9–16, 2020. DOI: <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLIII-B2-9-2020>.
- [6] MASIERO, A.; VETTORE, A.; LINGUA, A. *Indoor and outdoor UAV photogrammetry for 3D building reconstruction*. Remote Sensing, v. 11, n. 9, p. 1051, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs11091051>.

- [7] SCHONFELDER, P.; AZIZ, A.; FALTIN, B.; KÖNIG, M. *Automating the retrospective generation of as is BIM models using machine learning.* Automation in Construction, v. 152, e104937, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.104937>.
- [8] PAVÓN, R. M.; ARCOS ALVAREZ, A. A.; ALBERTI, M. G. *BIM-based educational and facility management of large university venues.* Applied Sciences, v. 10, n. 22, p. 1–28, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/app10227976>.
- [9] JUNG, J. et al. *Productive modeling for development of as built BIM of existing indoor structures.* Automation in Construction, v. 42, p. 68–77, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2014.02.021>.
- [10] KLEIN, L.; LI, N.; BECERIK-GERBER, B. *Image-based verification of as built documentation of operational buildings.* Automation in Construction, v. 21, n. 1, p. 161–171, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2011.05.023>.
- [11] BARAZZETTI, L. *Parametric as built modeling from point clouds and images.* Automation in Construction, v. 90, p. 79–93, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.02.005>.
- [12] LÓPEZ, F. J.; LERONES, P. M.; GÓMEZ-GARCÍA-BERMEJO, J. *A review of heritage building information modeling (HBIM).* Multimodal Technologies and Interaction, v. 2, n. 2, p. 21, 2018. DOI: <https://doi.org/10.3390/mti2020021>.
- [13] ARMESTO, J.; ARIAS, P.; ROCA, J.; LORENZO, J. *Monitoring and assessing structural damage in historic buildings.* The Photogrammetric Record, v. 23, p. 36–50, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1477-9730.2008.00466.x>.
- [14] YIN, R. K. *Estudo de caso: planejamento e métodos.* 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 20
- [15] VOLK, R.; STENGEL, J.; SCHULTMANN, F. *Building Information Modeling (BIM) for existing buildings-Literature review and future needs.* Automation in Construction, v. 38, p. 109–127, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2013.10.023>.