



ConBRepro

XIV CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

I CIGELUBRA

Congresso Internacional de Gestão e Engenharia Luso-Brasileiro

04 a 06 de dezembro de 2024

Energias Limpas nas Engenharias

Fotogrametria Simplificada: Avaliação de Métodos Gratuitos e Acessíveis para Uso em Laboratório

Rafael Lucas Machado Pinto

Departamento de Engenharia de Produção - Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP)

Maria Luísa Araújo Ferreira

Departamento de Engenharia de Produção - Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP)

Laura de Almeida Lima

Departamento de Engenharia de Produção - Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP)

Resumo: Este artigo tem como objetivo avaliar métodos de fotogrametria que sejam gratuitos e acessíveis, com foco na sua aplicação em ambientes laboratoriais. A pesquisa visa explorar a viabilidade de técnicas simplificadas de digitalização de objetos, proporcionando uma alternativa de baixo custo para estudantes e profissionais da Engenharia de Produção. A metodologia envolve a realização de experimentos práticos que testam diferentes abordagens de captura de imagens, considerando fatores como a qualidade da iluminação, o número de fotografias, e a configuração do ambiente de captura. O estudo também avaliará o impacto de diferentes superfícies de fundo na precisão dos modelos 3D gerados. Os resultados esperados incluem uma análise comparativa da eficácia dos métodos testados, fornecendo diretrizes sobre quais abordagens oferecem melhores resultados em termos de precisão e facilidade de uso. Ao final, o artigo pretende contribuir para a disseminação do conhecimento sobre a fotogrametria, destacando sua importância como uma ferramenta acessível para a digitalização de objetos em contextos acadêmicos e industriais.

Palavras-chave: Fotogrametria, Modelagem 3D, Digitalização acessível, Métodos gratuitos, Aplicações laboratoriais.

Simplified Photogrammetry: Evaluation of Free and Accessible Methods for Laboratory

Abstract: This study explores the effectiveness of accessible, cost-free photogrammetry techniques for 3D object digitization in laboratory settings. Focusing on methodologies that can be

implemented with limited resources, it evaluates various applications and their compatibility, efficiency, and potential for accurate model creation. The primary challenges identified include the importance of lighting, background consistency, and image quantity, all critical for producing precise 3D representations. Our analysis reveals that, while simplified, these methods hold substantial promise for engineering, education, and research. Recommendations for optimizing image capture and overcoming issues, such as reflections and lighting inconsistencies, are discussed to enhance future use. This research underlines photogrammetry's viability as an affordable and efficient tool for accessible 3D modeling.

Keywords: Photogrammetry, 3D Modeling, Accessible Digitization, Free Methods, Laboratory Applications.

1. Introdução

A fotogrametria, desenvolvida no século XIX como uma técnica para capturar, analisar e mapear terrenos a partir de fotografias aéreas, passou por uma evolução significativa com o avanço da tecnologia digital. Hoje, essa técnica tornou-se indispensável em diversas áreas da engenharia, como topografia, cartografia e, mais recentemente, em aplicações industriais e de produção. A capacidade de transformar imagens bidimensionais em modelos tridimensionais precisos tem sido crucial em projetos de digitalização de objetos e prototipagem (Costa *et al.*, 2024; Zhao *et al.*, 2021).

Existem dois tipos principais de fotogrametria: a fotogrametria aérea e a fotogrametria de curta distância. A fotogrametria aérea utiliza imagens capturadas de plataformas elevadas, como aviões ou drones, sendo amplamente empregada em topografia, agricultura e monitoramento ambiental. Já a fotogrametria de curta distância é aplicada em situações onde o objeto ou cenário está próximo da câmera, sendo muito utilizada em arquitetura, engenharia, fabricação e na digitalização de objetos para prototipagem (Alaloul *et al.*, 2021; Braun *et al.*, 2020). Ambas as técnicas se beneficiam da fotogrametria digital, que permite maior precisão e automação no processamento das imagens, eliminando muitos dos obstáculos anteriormente enfrentados com os métodos tradicionais.

Na Engenharia de Produção, a fotogrametria desempenha um papel essencial em diversas etapas do processo de fabricação, desde a digitalização de objetos para prototipagem rápida até a comparação de modelos digitais com especificações de projeto, otimizando processos e prazos (Reja, Varghese e Ha, 2022). Com a democratização de dispositivos digitais e o surgimento de aplicativos gratuitos ou de baixo custo, a fotogrametria tornou-se acessível a laboratórios acadêmicos e pequenos empreendedores, permitindo sua aplicação eficiente em ambientes acadêmicos e industriais, sem a necessidade de grandes investimentos em equipamentos sofisticados (Lin *et al.*, 2022). Nos últimos anos, a busca por soluções fáceis e de baixo custo para implementar a fotogrametria em laboratórios acadêmicos se intensificou, impulsionada pela necessidade de inovar e otimizar processos de fabricação digital. O declínio nos custos de equipamentos e a possibilidade de automação dos sistemas ainda encontram limitações na necessidade de pessoal altamente especializado, tornando a fotogrametria uma solução prática e viável em diversos setores.

Neste contexto, o presente artigo tem como objetivo investigar a eficácia de métodos gratuitos e acessíveis para a realização da fotogrametria em ambientes laboratoriais, utilizando materiais de baixo custo e aplicativos disponíveis no mercado. O foco principal está na digitalização de objetos para fins de prototipagem e produção, com a proposta de soluções práticas para a aplicação dessa tecnologia de forma simplificada. O problema

central investigado é a eficiência dessas abordagens econômicas, comparando a qualidade dos modelos digitais obtidos por diferentes métodos de captura de imagens, seja por fotos ou vídeos (Alaloul *et al.*, 2021). Além disso, o artigo enfatiza que, em um segundo momento, os objetos digitalizados serão fabricados por meio de produção aditiva utilizando uma impressora 3D, permitindo uma avaliação da fidelidade dos modelos tridimensionais gerados por diferentes técnicas.

Este artigo está dividido em cinco seções. A primeira apresenta o contexto geral da fotogrametria e sua importância para a engenharia de produção. A segunda seção discute a metodologia aplicada, detalhando os processos e ferramentas utilizadas nos experimentos. A terceira seção traz a análise dos resultados obtidos e compara as diferentes abordagens de digitalização. A quarta seção apresenta as conclusões, com recomendações sobre as melhores práticas para o uso dos métodos investigados, e sugere possíveis estudos futuros e melhorias para o processo de digitalização.

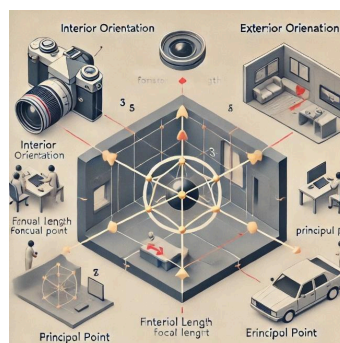
2. Revisão Bibliográfica

A fotogrametria é uma ciência que se baseia no conceito da medição por meio de imagens, permitindo a extração de informações tridimensionais a partir de representações bidimensionais. Essa técnica envolve uma relação direta com a geometria e a física da luz, tendo como fundamento a estereoscopia, um princípio que se refere à capacidade de percepção de profundidade quando se observa um objeto a partir de dois ângulos diferentes. Essa visão tridimensional proporcionada pela estereoscopia é essencial para criar modelos de alta precisão, sejam eles de terrenos, objetos ou até mesmo estruturas arquitetônicas (TEMBA, 2000).

A transição da fotogrametria analógica para a digital foi marcada por avanços significativos nas áreas de processamento de imagem e automação de sistemas, o que possibilitou a análise de grandes volumes de dados de forma mais eficiente e precisa. Segundo Tommaselli *et al.* (1999), essa mudança não apenas otimizou os métodos tradicionais de captura e análise, mas também permitiu a democratização da fotogrametria, abrindo espaço para aplicações em diferentes setores, desde a engenharia de produção até a análise de posturas humanas em fisioterapia.

A Figura 1 ilustrará o conceito de orientação interior e exterior, um dos pilares fundamentais da fotogrametria. A orientação interior se refere à geometria interna do sistema óptico utilizado, como a distância focal e o ponto principal da lente. Já a orientação exterior relaciona-se com a posição e a rotação da câmera no espaço tridimensional em relação ao objeto a ser medido. Esses parâmetros são cruciais para garantir a precisão das medições, pois determinam a relação geométrica entre a câmera e o objeto mapeado (TOMMASELLI *et al.*, 1999).

Figura 1 - Representação da Orientação Interior e Exterior do Sistema Óptico



Outro conceito essencial é o da triangulação, uma técnica matemática utilizada para calcular as coordenadas tridimensionais de pontos de controle em um terreno ou objeto, a partir de múltiplas imagens sobrepostas. Essa técnica se baseia na ideia de que, conhecendo a posição relativa de dois pontos de vista e a posição de um ponto em uma imagem, é possível determinar sua posição exata no espaço tridimensional. A triangulação é particularmente importante em aplicações de topografia e engenharia civil, onde a precisão milimétrica é um requisito essencial (SILVA, 2015).

Em termos de tecnologias, a fotogrametria moderna faz uso de uma ampla gama de dispositivos, desde câmeras digitais de alta resolução até drones e scanners 3D. Tais equipamentos capturam imagens em alta precisão, permitindo a criação de modelos tridimensionais complexos. Em complemento a esses dispositivos, softwares especializados como CAD (Desenho Assistido por Computador) e CAM (Manufatura Assistida por Computador) são amplamente empregados para a análise e manipulação de dados fotogramétricos, especialmente em indústrias que exigem alta precisão na prototipagem e na fabricação de peças (FERNEDA, 1999).

A ortorretificação é outro conceito chave na fotogrametria, particularmente importante para aplicações cartográficas. Esse processo corrige as distorções nas imagens causadas pela inclinação da câmera e pela topografia do terreno, resultando em uma representação precisa e sem distorções de uma superfície. A ortorretificação é amplamente utilizada em mapeamentos urbanos e ambientais, onde a precisão na representação de áreas geográficas é fundamental para a tomada de decisões (TOMMASELLI et al., 1999).

A evolução da fotogrametria no Brasil, como documentado por Silva (2015), foi marcada por uma adoção gradual das tecnologias internacionais, que começaram a ser implementadas nas décadas de 1960 e 1970. Desde então, o país tem investido em infraestrutura e formação de profissionais especializados, o que permitiu o desenvolvimento de projetos de grande escala em áreas como planejamento urbano, monitoramento ambiental e conservação de patrimônios culturais. Os avanços recentes incluem o uso de drones e sistemas de informação geográfica (SIG), que têm expandido ainda mais as possibilidades de aplicação da fotogrametria no Brasil.

Dessa forma, a fotogrametria não apenas ampliou seu escopo de aplicações, como também se estabeleceu como uma ferramenta essencial em diversos campos da engenharia, design e planejamento urbano. Com o contínuo avanço das tecnologias digitais e o aumento da acessibilidade a ferramentas de baixo custo, a tendência é que essa técnica continue a evoluir, integrando-se cada vez mais com outras áreas do conhecimento e oferecendo soluções inovadoras para desafios contemporâneos.

3. Metodologia

3.1 Classificação Metodológica da Pesquisa

Segundo Medeiros (2006) a pesquisa científica tem como objetivo contribuir para a evolução do conhecimento humano em todos os setores, da ciência pura, ou aplicada; da matemática ou da agricultura, da tecnologia ou da literatura. A Figura 2 ilustra alguns critérios de classificação da pesquisa científica em engenharia de produção, como proposto por Turrioni e Mello (2017).

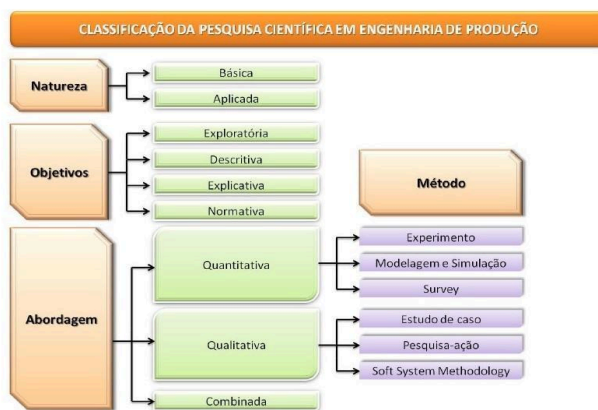
Do ponto de vista da natureza da pesquisa, trata-se de uma pesquisa aplicada, pelo seu interesse prático, no qual o conhecimento teórico adquirido durante a revisão bibliográfica é utilizado na realidade da empresa para solucionar os problemas encontrados.

Quanto aos objetivos, caracteriza-se como exploratória, pois, conforme Medeiros (2006), esse modelo visa proporcionar maior familiaridade com um problema a fim de torná-lo mais explícito ou construir hipóteses, e tem como objetivo o aprimoramento de ideias. Pode-se utilizar levantamento bibliográfico, documental e observação direta intensiva.

A pesquisa tem uma abordagem combinada, pois utiliza uma combinação tanto de aspectos quantitativos, quanto qualitativos em todos ou em algumas das etapas do processo de pesquisa.

Já quanto aos métodos, a pesquisa pode ser classificada como modelagem e simulação, empregada quando se deseja experimentar, através de um modelo, um sistema real, determinando-se como este sistema responderá a modificações que lhe são propostas.

Figura 2 - Classificação da pesquisa científica em Engenharia de Produção



Fonte: Adaptado de Turrioni e Mello (2017)

3.2. Descrição das etapas para desenvolvimento da pesquisa

No laboratório, seguiu-se um processo estruturado para implementar a fotogrametria de maneira eficiente. Foi construído um mini estúdio de madeira, representado na Figura 3, revestido com cartolina preta, para otimizar a captura de imagens. O revestimento preto serve para minimizar reflexos indesejados e melhorar a qualidade das fotos.

Figura 3 - Estúdio de Fotogrametria



Fonte: Autores (2024)

Em seguida, foram selecionados alguns objetos, conforme pode ser observado na Figura 4, para testar a fotogrametria, como peças, modelos e itens do cotidiano, incluindo garrafas recicladas pintadas de branco para aumentar o contraste com o fundo preto, além de vasos decorativos. A escolha dos objetos visou avaliar diferentes aspectos da digitalização, como a complexidade geométrica e a textura.

Figura 4 – Objetos utilizados para os testes de digitalização tridimensional



Fonte: Autores (2024)

3.3 Aplicativos Gratuitos e Avaliação da Qualidade da Digitalização 3D

Para a digitalização de objetos e criação de modelos 3D acessíveis, foram utilizados três aplicativos gratuitos, incluindo Meshroom, KIRI Engine e MagiScan. Esses aplicativos oferecem a possibilidade de gerar modelos tridimensionais detalhados a partir de fotografias e vídeos, sem a necessidade de licenças pagas e com suporte para uma ampla variedade de formatos de exportação, ideais para uso em impressoras e softwares 3D. Os métodos de captura, por meio de fotos e vídeos, auxiliam na criação de modelos precisos e detalhados: a captura com fotos permite um controle maior sobre detalhes específicos, enquanto a captura em vídeo, convertida em frames, possibilita uma visualização de múltiplos ângulos de forma prática e eficiente. Esses métodos maximizam a eficácia dos aplicativos utilizados, proporcionando flexibilidade e precisão na digitalização.

A eficiência do processo foi avaliada com base em critérios como a qualidade das imagens capturadas, a precisão dos modelos digitalizados e a viabilidade para impressão 3D. A qualidade das imagens foi determinada pela clareza e detalhamento das fotos, enquanto a precisão da digitalização foi avaliada ao comparar os modelos 3D gerados com os objetos reais. Para testar a viabilidade para impressão 3D, alguns modelos foram impressos, verificando-se a fidelidade dos resultados em relação aos objetos originais.

4. Resultados

4.1 Dados coletados durante os testes

a) Meshroom

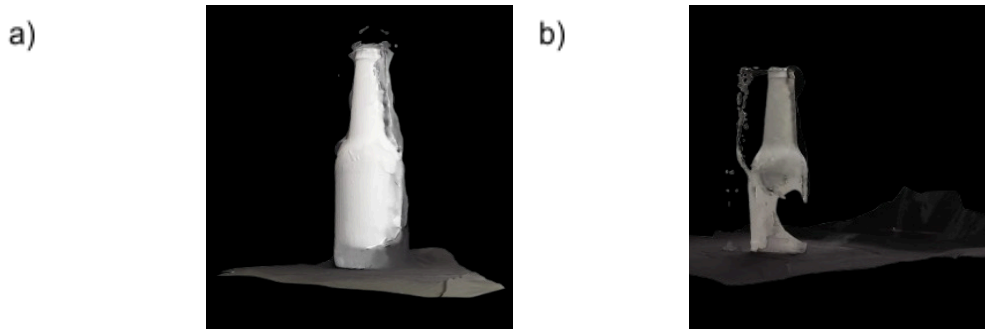
Inicialmente, foi testado o software Meshroom. Foi observado que as fotos utilizadas não eram compatíveis, o que impediu o funcionamento adequado do software. Esse desafio destacou a importância de garantir a compatibilidade das imagens com os requisitos do aplicativo para obter resultados precisos.

b) KIRI Engine

Inicialmente, o KIRI Engine foi utilizado com 30 fotos. Observou-se que é necessária uma grande quantidade de fotos para obter resultados satisfatórios, e a iluminação desempenha um papel crucial na qualidade dos modelos. Foi necessário aprimorar o processo para conseguir uma resolução ainda melhor. No entanto, o resultado obtido pode ser considerado satisfatório para um aplicativo gratuito. O KIRI Engine capturou até a rugosidade da superfície, conseguindo reproduzir detalhes como uma parte da coroa presente na garrafa digitalizada, conforme pode ser observado na Figura 5-a.

Com 51 fotos, ficou evidente que a iluminação é crucial para a qualidade dos modelos 3D, conforme pode ser observado na Figura 5-b. Além disso, foi identificado que o fundo da garrafa precisa ser pintado de branco para evitar reflexos que comprometem a precisão do modelo. Mesmo com o aumento no número de fotos, a presença de reflexos ainda interferiu na qualidade final do escaneamento. O uso de uma iluminação mais uniforme e um fundo não reflexivo são recomendados para melhorar os resultados. Apesar dos desafios, o KIRI Engine conseguiu capturar detalhes significativos do objeto, demonstrando seu potencial como ferramenta gratuita para digitalização 3D.

Figura 5 - Garrafa Branca



Fonte: KIRI Engine foi utilizado com 30 fotos (a) e 51 fotos (b)

Ao digitalizar um vaso 1 com 50 fotos, observou-se que a iluminação e a qualidade das fotos são cruciais para obter um modelo 3D preciso. O modelo gerado, observado na Figura 6-a, mostrou a textura detalhada do vaso, incluindo padrões abstratos em tons de laranja, marrom e bege. A digitalização apresentou um estado de baixa poligonalidade, indicando que a exportação do modelo em alta resolução revelará ainda mais detalhes. É necessário garantir a uniformidade da iluminação para evitar sombras indesejadas e capturar todas as partes do objeto de diferentes ângulos para uma reconstrução completa. Mesmo com esses desafios, o KIRI Engine foi eficaz na captura de detalhes significativos, como a textura da superfície do vaso.

Com 100 fotos, houve uma melhora significativa na qualidade do modelo 3D de outro vaso, conforme pode ser observado na Figura 6-b. A maior quantidade de fotos permitiu capturar mais detalhes da superfície texturizada do vaso. A imagem resultante mostra um modelo de baixa poligonalidade, mas com a exportação em alta resolução, espera-se que ainda mais detalhes sejam revelados. A textura do vaso, com padrões florais ou abstratos em tons de branco, marrom e laranja, foi bem representada. Para obter resultados mais precisos, é importante manter a iluminação uniforme e evitar reflexos que possam comprometer a precisão do modelo. A captura de todos os ângulos do objeto é essencial para uma reconstrução completa e detalhada.

Figura 6 - Vaso 1

a)



b)



Fonte: KIRI Engine foi utilizado com 50 fotos (a) e 100 fotos (b)

Ao digitalizar um novo vaso (vaso 2) com 100 fotos, a qualidade do modelo 3D ficou aquém do esperado, conforme pode ser visto na Figura 7. Apesar do aumento no número de fotos, a digitalização apresentou imperfeições, e a representação da superfície do vaso não ficou tão detalhada. Iluminação inconsistente e reflexos podem ter influenciado negativamente nos resultados. A textura e os detalhes do vaso não foram capturados de forma precisa, resultando em um modelo de menor qualidade. Para melhorar, é essencial ajustar a iluminação para ser mais uniforme e evitar reflexos. A captura de ângulos adicionais pode ajudar a obter uma representação mais completa e precisa do objeto.

Figura 7 - Vaso 2



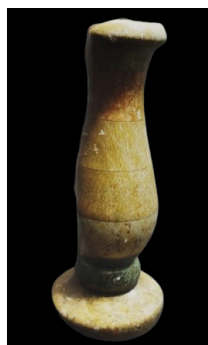
Fonte: KIRI Engine foi utilizado com 100 fotos

c) MagiScan

Ao utilizar o MagiScan com o método "Roda 360°", que envolve uma rotação em torno do objeto para capturar 45 fotos, observou-se uma alta qualidade nas imagens, com boa iluminação e resolução. Esse método permitiu uma captura detalhada das texturas e formas do objeto. A imagem resultante, observada na Figura 8-a mostra um objeto de pedra esculpida, com uma base circular e um corpo que se estreita e depois se alarga novamente, lembrando a forma de um pino ou uma peça de xadrez. A superfície do objeto apresenta variações de cor, com tons de marrom claro e escuro, e parece ter uma textura lisa e polida. Comparando os métodos de captura, a "Roda 360°" do MagiScan se destaca pela quantidade de fotos e a precisão na captura dos detalhes do objeto. Já utilizando o método "Roda 360°" no MagiScan, observado na Figura 8-b, a digitalização do vaso feito de pedra sabão ficou excepcionalmente boa. O modelo 3D gerado não só capturou os detalhes texturais da peça, mas também conseguiu reproduzir a luminosidade natural do objeto, evidenciando a precisão do aplicativo.

Figura 8 - Vaso 2

a)



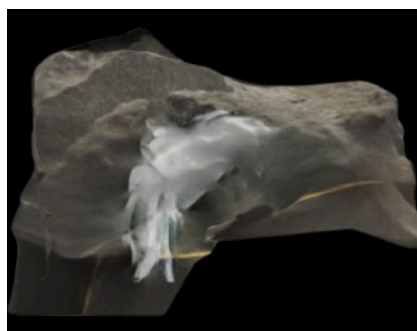
b)



Fonte: MagiScan com o método "Roda 360°" com 45 fotos em (a) e N fotos em (b)

Utilizando o MagiScan com 100 fotos para digitalizar um objeto, o resultado ficou longe do esperado (Figura 9). A digitalização era para ser de um coelho, mas a qualidade ficou tão comprometida que não é possível identificar claramente que se trata de um coelho. Isso mostra que, mesmo com um número elevado de fotos, a qualidade do modelo digitalizado pode ser afetada por fatores como iluminação inadequada, ângulos de captura insuficientes ou reflexos. Esse coelho foi impresso no laboratório usando uma impressora 3D, e o modelo de impressão veio do software da impressora. Embora a intenção fosse capturar todos os detalhes do objeto impresso, a digitalização não conseguiu refletir fielmente as características do coelho.

Figura 9 - Coelho



Fonte: MagiScan foi utilizado com 100 fotos

4.2 Análise Comparativa: Eficiência e Limitações

Fotos vs. Vídeos: Ao comparar a qualidade dos modelos 3D gerados a partir de fotos e vídeos, observou-se que ambos os métodos têm suas vantagens e desvantagens. As fotos permitem capturar detalhes mais precisos e são especialmente eficazes quando a iluminação é bem controlada. Por outro lado, os vídeos podem ser mais práticos para escanear objetos com superfícies complexas, proporcionando uma visão contínua e detalhada. No entanto, os vídeos requerem uma iluminação constante para evitar variações que possam comprometer a qualidade do modelo.

Inicialmente, ao utilizar o **Meshroom**, foi observado que as fotos utilizadas não eram compatíveis, impedindo o funcionamento adequado do software. Este problema destacou a necessidade de garantir a compatibilidade das imagens com os requisitos do aplicativo. A eficiência do Meshroom na criação de modelos detalhados a partir de fotos é boa, mas o software é complexo para iniciantes e dependente da qualidade das fotos.

O **KIRI Engine** foi testado com diferentes quantidades de fotos, revelando que a iluminação e o fundo são cruciais para a qualidade dos modelos 3D. Com 30 fotos, a necessidade de um grande número de imagens e iluminação adequada ficou evidente. Com 51 fotos, a importância de evitar reflexos foi notada, e com 50 fotos, a captura de texturas detalhadas foi bem-sucedida. A digitalização de vasos com 50 e 100 fotos mostrou melhorias, mas também destacou a necessidade de uma iluminação uniforme e ajustes na captura de ângulos. Em suma, o KIRI Engine é fácil de usar e bom para escaneamento rápido, mas é limitado a três scans gratuitos por semana e não permite edição direta dos scans.

O método "Roda 360°" do **MagiScan**, que envolve uma rotação em torno do objeto para capturar 45 fotos, mostrou-se eficiente para capturar detalhes texturais e luminosidade natural, especialmente em objetos complexos como vasos de pedra sabão. No entanto, a digitalização de um coelho com 100 fotos ficou aquém do esperado, indicando que a qualidade do modelo pode ser afetada por iluminação inadequada, ângulos de captura insuficientes ou reflexos. O MagiScan oferece boa integração com outras plataformas e suporte para múltiplos formatos, mas pode ser lento em dispositivos menos potentes.

5. Conclusão

Em conclusão, a pesquisa evidenciou que a fotogrametria é uma ferramenta valiosa e acessível, com grande potencial para a digitalização de objetos em diversas áreas, especialmente na Engenharia de Produção. Contudo, a qualidade dos resultados obtidos por meio dessa técnica depende de fatores críticos, como a iluminação adequada, a escolha do fundo e a quantidade de imagens capturadas, que são fundamentais para garantir a precisão e a fidelidade dos modelos gerados.

As diferentes ferramentas analisadas, como Meshroom, KIRI Engine e MagiScan, apresentaram suas próprias vantagens e desvantagens, que devem ser consideradas na escolha da abordagem mais apropriada para cada situação. A comparação entre métodos de captura, incluindo fotos e vídeos, revelou que, embora ambos tenham seu valor, as fotografias tendem a oferecer melhores resultados quando bem iluminadas.

Para o futuro, é recomendável que novas pesquisas se concentrem em aprimorar os processos de captura e explorem a integração dessas tecnologias em contextos acadêmicos e industriais. Além disso, a investigação de soluções para os desafios identificados, como reflexos e iluminação inconsistente, pode contribuir para otimizar ainda mais a aplicação da fotogrametria. Com um enfoque contínuo na inovação e na eficiência, a fotogrametria pode se consolidar como uma ferramenta essencial em uma ampla gama de aplicações, transformando a forma como os modelos 3D são utilizados e valorizados.

Referências

ALALOUL, W. S. et al. Evolução de tecnologias de detecção de curto alcance e aquisição de dados para automação no monitoramento de progresso de construção. *Journal of Building Engineering*, v. 43, n. jun., p. 102877, 2021.

BRAUN, A. et al. Monitoramento de progresso através da fusão de nuvens de pontos, dados semânticos e visão computacional. *Automation in Construction*, v. 116, 2020.

CHEN, J. et al. Avaliação de qualidade de modelo 3D realista e leve com base no design BIM para frente. *Computer Communications*, v. 174, p. 75–80, 2021.

COELHO, P. et al. Indústria 5.0: o surgimento de um conceito. *Procedia Computer Science*, v. 217, p. 1137–1144, 2023.

COSTA, R. P.; FERNANDES, L. L. de A.; MUTA, L. F.; ISATTO, L. E.; COSTA, D. B. Modelagem 3D de edificação gerada por fotogrametria com uso de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT). *Revista Brasileira de Geomática*, v. 5, n. 1, p. 45-60, 2024.

FERNEDA, Amauri Bravo. Integração metrologia, CAD e CAM: uma contribuição ao estudo de engenharia reversa. 1999. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1999.

IUNES, Denise Hollanda; BEVILAQUA-GROSSI, Débora; OLIVEIRA, Ana Silvia; CASTRO, Flávia Aparecida de; SALGADO, Helena Sampaio. Análise comparativa entre avaliação postural visual e por fotogrametria computadorizada. *Revista Brasileira de Fisioterapia*, São Carlos, v. 13, n. 4, p. 308-315, jul./ago. 2009.

MARCELINO, J.; MANSO, J.; LEITE, D.; MARQUES, N. C.; FREIRE, O. Structural health monitoring and inspection of dams based on Unmanned Aerial Vehicles photogrammetry with image 3D reconstruction. National Laboratory of Civil Engineering; NOVA LINCS/NOVA School of Science and Technology, Lisbon, Portugal, 2020.

SILVA, Daniel Carneiro da. Evolução da Fotogrametria no Brasil. *Revista Brasileira de Geomática*, v. 3, n. 2, p. 81-96, 2015.

TEMBA, Plínio. Fundamentos da Fotogrametria. Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Cartografia, 2000.

TOMMASELLI, Antonio Maria Garcia; SILVA, João Francisco Carvalho; HASEGAWA, Júlio Kiyoshi; GALO, Mauricio; DAL POZ, Aluir Porfírio. Fotogrametria: aplicações a curta distância. *Revista Brasileira de Cartografia*, v. 40, p. 147-159, 1999.

ZHAO, S. et al. Monitoramento da saúde estrutural e inspeção de barragens com base em fotogrametria de VANT com reconstrução de imagens em 3D. *Automation in Construction*, v. 130, n. jul., p. 103832, 2021.