

CAPELA DA FAZENDA VENEZA: ANÁLISE COMPARATIVA DA PRECISÃO DE NUVENS DE PONTOS OBTIDAS POR DIFERENTES FERRAMENTAS E TÉCNICAS DE FOTOGRAMETRIA

VENEZA FARM CHAPEL: A COMPARATIVE ANALYSIS OF POINT CLOUDS ACCURACY OBTAINED FROM DIFFERENT PHOTOGRAMMETRY TOOLS AND TECHNIQUES

Maíra Sebastião Dias¹, Ana Regina Mizrahy Cuperschmid¹, Cauê Carneiro Santiago¹, Marcos Alexandre Godoy¹, Danielle Skubs¹, Adriana Volpon Diogo Righetto², Melina Lopes Silva³, Henrique Candido Oliveira¹

RESUMO:

A Capela da Fazenda Veneza, projetada pelo arquiteto Decio Tozzi, é uma edificação de grande importância tanto pela sua plasticidade e representatividade, quanto para o patrimônio da arquitetura moderna brasileira. A edificação, localizada na cidade de Valinhos, SP, já conquistou diversas premiações nacional e internacionalmente. Considerando a importância da obra, viu-se a necessidade de realizar um levantamento geométrico por meio da Fotogrametria digital. Tendo em vista o leque disponível de *software* para processamento fotogramétrico, esta pesquisa tem como objetivo comparar a precisão das dimensões das nuvens de pontos densas, em relação às dimensões reais da edificação, geradas nos programas mais utilizados em pesquisas científicas. Esta pesquisa foi desenvolvida a partir das seguintes etapas: (i) Revisão Sistemática da Literatura (RSL); (ii) Medição *in loco* da edificação; (iii) Planejamento de voo: livre com utilização de alvos (V1); e autônomo com *double grid* e utilização de pontos de controle estabelecidos por meio de estação total (V2); (iv) coleta de dados por Fotogrametria aérea com sistema de aeronave remotamente pilotada (V1 e V2); (v) Processamento dos dados obtidos nos programas mais utilizados (V1 e V2); (vi) Comparação das dimensões reais com as medidas obtidas nas nuvens densas; e (vii) Análise estatística. Observou-se que a precisão da nuvem de pontos é influenciada pelas técnicas e equipamentos utilizados na coleta de dados e pelo *software* empregado no processamento. Esta investigação contribui para realização de futuros levantamentos Fotogramétricos, uma vez que aponta as melhores práticas para alcançar maior precisão

PALAVRAS-CHAVE: Decio Tozzi; Fotogrametria; *Structure from Motion*; comparação de *software*.

ABSTRACT:

The Veneza Farm Chapel, designed by architect Decio Tozzi, is a building of great importance for both its plasticity and representativeness, as well as for the heritage of modern Brazilian architecture. The building, located in the city of Valinhos, SP, has won several awards nationally and internationally. Considering its importance, there was a need to conduct a geometric survey using Digital Photogrammetry. In view of the available range of software for photogrammetric processing, this research compares the accuracy of the dense point cloud dimensions, in relation to the building actual dimensions, generated in the most used programs in scientific research. This study was developed from the following steps: (i) Systematic Literature Review; (ii) on-site measurement of the building; (iii) flight planning: free with targets (V1); and autonomous with double grid and control points established through total station (V2); (iv) data collection by aerial photogrammetry with Unmanned Aircraft System (V1 and V2); (v) processing of data obtained in the most common programs (V1 and V2); (vi) comparison of real dimensions with measurements obtained in dense clouds; and (vii) statistical analysis. It was observed that the accuracy of the point cloud is influenced by the techniques and equipment used in data collection and by the software used in the processing. This research contributes to the realization of future Photogrammetric surveys, since it highlights best practices to achieve greater accuracy.

KEYWORDS: Decio Tozzi; Photogrammetry; *Structure from Motion*; software comparison.

How to cite this article:

DIAS, M. S.; CUPERSCHMID, A. R. M.; SANTIAGO, C. C.; GODOY, M. A.; SKUBS, D.; RIGHETTO, A. V. D.; SILVA, M. L.; OLIVEIRA, H. C. Capela da Fazenda Veneza: análise comparativa da precisão de nuvens de pontos obtidas por diferentes ferramentas e técnicas de Fotogrametria. *Gestão & Tecnologia de Projetos*. São Carlos, v16, n3, 2021. <https://doi.org/10.11606/gtp.v16i3.174756>

¹ Universidade Estadual de Campinas

² Sergio Righetto Arquitetura Ltda

³ GRIS

Fonte de Financiamento:
Nada consta

Conflito de Interesse:
Nada consta

Ética em Pesquisa:
Nada consta

Submetido em: 02/02/2021
Aceito em: 07/02/2021



CAPELA DA FAZENDA VENEZA

A Capela da Fazenda Veneza, localizada na cidade de Valinhos, São Paulo, foi construída à margem do lago desta fazenda. O projeto foi realizado pelo arquiteto e urbanista Decio Tozzi no ano de 2002, sendo que a Capela foi inaugurada no ano de 2003 (TOZZI, 2018). Embora não seja uma edificação antiga, é uma edificação de grande interesse para o patrimônio da arquitetura moderna brasileira, tanto pela representatividade do arquiteto, quanto pela plasticidade da edificação, conforme a Figura 1.

Figura 1. Fotos da Capela da Fazenda Veneza

Fonte:
Os autores



Decio Tozzi nasceu em São Paulo no ano de 1936, iniciando sua formação como arquiteto na Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Mackenzie em 1955 (TOZZI, 2005). Durante o curso, acompanhou o ápice do movimento modernista da arquitetura brasileira com a construção de Brasília. Neste contexto, Santoro (2010) afirma que Decio Tozzi representa uma das figuras mais significativas da geração seguinte à de Lucio Costa, Oscar Niemeyer e Vilanova Artigas.

Com uma área de 225m² em um terreno de mais de 50.000m², a Capela é um dos projetos mais recente de Decio Tozzi, representando formalmente os conceitos mais característicos do arquiteto, como a integração com a natureza, a luz natural como elemento fundamental e geometria simples (TOZZI, 2005). A obra conquistou várias premiações, entre elas o “Prêmio Internacional de Arquitetura Sacra”, da Fundação Frate Sole, que promove a arquitetura sacra contemporânea (FÓRUM DA CONSTRUÇÃO, 2008).

Dada a importância da obra, foi realizado um levantamento para guardar sua memória. Visto que a aplicação das tecnologias digitais representa um significativo avanço nas técnicas e procedimentos para realização de levantamentos e consequente preservação de uma edificação de interesse histórico (NOGUEIRA, 2010), a Fotogrametria digital foi explorada como recurso para o levantamento da Capela da Fazenda Veneza.

Tendo em vista a necessidade de realizar o levantamento geométrico da Capela e o leque disponível de *software* para processamento fotogramétrico, esta pesquisa tem como objetivo comparar a precisão das dimensões das nuvens de pontos densas, em relação às dimensões reais da edificação, geradas nos programas mais utilizados em pesquisas científicas. Esta investigação parte do pressuposto que a precisão da nuvem de pontos é influenciada pelas técnicas e equipamentos utilizados na coleta de dados e pelo *software* empregado no processamento.

FOTOGRAMETRIA DIGITAL

O levantamento métrico é um conceito que está ligado à documentação arquitetônica e pode ser definido como a representação gráfica detalhada das características de uma edificação ou conjunto de edificações (NOGUEIRA, 2010). Conforme o autor, a fase de documentação de um bem cultural histórico compreende a extração dos aspectos físicos, topológicos e imateriais do objeto arquitetônico, como por exemplo elementos geométricos, seu estado de conservação, os materiais construtivos, a relação com o entorno e informações históricas. Neste contexto, as tecnologias de levantamento e digitalização tridimensional, como o escaneamento a laser e Fotogrametria digital, apresentam-se como novos aliados para a preservação do Patrimônio Cultural, já que eles podem expor, de forma precisa, imperfeições e danos nas edificações (VIZIOLI *et al.*, 2019).

De acordo com Brito e Coelho (2007, p. 248), Fotogrametria é “a ciência e tecnologia de se obter informações e dados confiáveis por meio de imagens”. Levantamentos fotogramétricos são definidos como levantamentos em que imagens estéreo são sobrepostas juntamente com dados de controle para gerar o detalhamento desejado (BRYAN; BLAKE; BEDFORD, 2012).

De acordo com Dezen-Kempton *et al.* (2015), os levantamentos fotogramétricos geram dados relevantes para atualizar desenhos e modelos de uma edificação, possibilitando a comparação entre o construído (*as-built*) e o projetado (*as-designed*). No caso de edificações históricas, a autora aponta uma importância ainda maior, já que muitas vezes não há o registro do projeto original e nem das alterações que sucederam ao longo do ciclo de vida do edifício. Dessa forma, a Fotogrametria apresenta uma grande vantagem ao representar fielmente as peculiaridades de todos os componentes arquitetônicos da edificação, ao contrário dos métodos tradicionais por medição direta, que apesar de mais simples acabam se tornando um método moroso e com dificuldades de precisão (DEZEN-KEMPTER *et al.*, 2015).

A técnica de *Structure from Motion* (SfM) consiste na confecção de modelos tridimensionais a partir do processamento automático de fotografias digitais mediante o uso de um *software* especializado (DONEUS *et al.*, 2011; BIANCO, CIOCCA, MARELLI, 2018; MELO *et al.*, 2018; BYBEE, BUDGE, 2019; JAUD *et al.*, 2019).

Seus princípios se baseiam na geometria descritiva, em que a relação de proporção entre o objeto real e as fotografias possibilita a extração da geometria dos objetos com precisão pelo processo de fototriangulação (TREIBLE *et al.*, 2018). Por meio desta técnica, é possível converter objetos descritos no sistema de coordenadas bidimensional de imagens para o sistema de coordenadas tridimensional, através da projeção espacial de pontos comuns entre imagens (pontos homólogos ou *tie points*) (HISTORIC ENGLAND, 2017). Assim, a correlação automática de todas as combinações possíveis entre pontos homólogos, *Dense Stereo Matching* (DSM), permite a geração de uma nuvem de pontos densa que, por sua vez, possibilita a criação de malhas triangulares irregulares (*Triangulated Irregular Network - TIN*) (DONEUS *et al.*, 2011; BYBEE, BUDGE, 2019; JAUD *et al.*, 2019) resultando em uma reconstrução virtual preliminar (FRANCO JÚNIOR, 2019).

É uma técnica eficiente para obtenção de informações como dimensões, cores e texturas e, a partir disso, podem ser gerados desenhos e modelos geométricos tridimensionais que permitem a restituição de diversos tipos de objetos, detalhes, edificações e conjunto delas, o que contribui para exploração de diferentes níveis de complexidade (CÓRDOBA, FERNANDÉZ, 2012; DONEUS *et al.*, 2011; BYBEE, BUDGE, 2019; JAUD *et al.*, 2019).

Apesar do processo fotogramétrico ser apresentado como um método simplificado para obtenção de um modelo preciso, é importante evidenciar qual a finalidade da documentação, para definir o nível de detalhe que se pretende obter (NOGUEIRA, 2010; DEZEN-KEMPTER,

2015). Corroborando, Vizioli *et al.* (2019) afirmam que, ao realizar um mapeamento 3D, o ideal é saber desde o início qual resultado se pretende obter durante o processo e direcionar o levantamento somente para aquilo que será útil, economizando tempo e custo. Porém, segundo os autores, muitas vezes ocorrem mudanças durante o percurso. Neste contexto, considerando que uma nuvem de pontos completa reúne o máximo de informações possíveis, ela é vista como um avanço que permite realizar o levantamento primeiro e escolher as informações relevantes para um determinado propósito em um segundo momento (VIZIOLI *et al.*, 2019).

Todavia, para se obter um resultado satisfatório com a técnica recomenda-se:

- Estabelecer etapas para a Fotogrametria, como: (i) Preparação dos equipamentos e planejamento das tomadas fotográficas; (ii) Coleta de dados, por meio de medição direta *in loco* e fotografias, para verificação e comparação posteriormente; (iii) Processamento das fotografias; e (iv) Pós-processamento para extração de informações relevantes, como ortofotos, vídeos, desenhos 2D, entre outros (POLOPRUTSKÝ, FRAŠTIA, MARČIŠ, 2019; AHMADABADIAN *et al.*, 2017; KORTABERRIA *et al.*, 2018);
- Realizar o levantamento fotográfico em um intervalo de tempo que garanta uma luminosidade incidente constante, seja ela natural ou artificial, dando preferência a um céu uniforme e com a mesma incidência de raios, evitando variações de luz e sombras nas imagens (PIERROT-DESEILLIGNY, de LUCA, REMONDINO, 2011; SUN, ZHANG, 2018; MOUDRÝ, BEKOVÁ, LAGNER, 2019);
- Utilizar pontos de apoio para o referenciamento do produto em um sistema de coordenadas local ou global, a fim de obter uma maior precisão (GROETELAARS, AMORIM, 2012; HOLATA *et al.*, 2018; KORTABERRIA *et al.*, 2018). A estratégia de utilização de alvos é recomendada quando se trabalha com superfícies muito uniformes, em que a identificação dos pixels homólogos pode se tornar problemática, comprometendo o resultado. Portanto, os autores indicam que alvos adicionados em pontos estratégicos da superfície facilitam a identificação da posição das fotografias na etapa de processamento;
- Uma sobreposição de, aproximadamente, 80% das imagens longitudinais e de 40% nas laterais, ou seja, a distância entre as faixas de voo (PIERROT-DESEILLIGNY, de LUCA, REMONDINO, 2011; BRYAN; BLAKE; BEDFORD, 2012). Além disso, os autores indicam o alinhamento de cada plano de imagem com o plano principal do assunto de até 3° de paralelismo, uma inclinação vertical mínima da câmera de até 15° (para cima ou para baixo) e uma variação na escala entre imagens estéreo adjacentes de não mais do que 5%. Essas recomendações significam que é aconselhável realizar no mínimo três fotografias em posições diferentes, mas sempre paralelas, do mesmo plano principal para se obter um resultado satisfatório (PIERROT-DESEILLIGNY, de LUCA, REMONDINO, 2011). Deve-se, também, garantir um contraste e uma triangulação adequados dos pontos de superfície, evitando vistas angulares altas, que devem estar entre 60° e 110° (KORTABERRIA *et al.*, 2018);
- Utilizar a relação $R = B/L$, onde B é a distância entre imagens consecutivas e L é a distância do alvo até a tomada fotográfica. O valor de R deve ser entre 0,1 à 0,4 (PIERROT-DESEILLIGNY, DE LUCA, REMONDINO, 2011), conhecida como "relação base-altura";
- Calcular o valor do *Ground Sample Distance* (GSD), que é a relação de cm/pixel, de acordo com a escala arquitetônica que se pretende obter com o modelo final (BRYAN; BLAKE; BEDFORD, 2012). Um GSD mais robusto influencia positivamente na qualidade de reconstrução (FREY *et al.*, 2018). Isso quer dizer que, segundo os autores, imagens em baixa resolução geram nuvem de pontos com uma distância maior entre cada pixel,

o que limita a obtenção de informações sobre os detalhes. Portanto, quanto maior a quantidade de número de pixels por centímetro, maior a densidade da nuvem.

Em suma, o número necessário de fotos para garantir a sobreposição desejada e a precisão da reconstrução da superfície são dependentes dos formatos da grade de voo, da frequência de fotografias consecutivas e do enquadramento da câmera em diferentes alturas de voo (CALI *et al.*, 2018). Ainda, deve ser considerada a qualidade da câmera fotográfica para garantir a precisão da tecnologia na geração de nuvens de pontos (COGIMA *et al.*, 2020).

Para evidenciar o vasto campo das possibilidades da SfM, a coleta de dados abrange desde fotografias terrestres (MARTINS *et al.*, 2019; HINGEE; CACCETTA; CACCETTA, 2019; REVESZ *et al.*, 2020), fotografias aéreas (HANSMAN; RING, 2019; CHESLEY *et al.*, 2017), fotografias submersas ou subaquáticas (ROSSI *et al.*, 2020) e até mesmo fotografias lunares com uso de robô (CARAVACA *et al.*, 2020). Isso permite que o objeto estudado também seja diversificado, a exemplo de edifícios e recomposição de sua fachada (TEZA; PESCI; NINFO, 2016; DI GREGORIO; CONDORELLI, 2018), área de encosta (WANG *et al.*, 2019), praias (JAUD *et al.*, 2019), rios (JAVERNICK *et al.*, 2016; CALLE; ALHO; BENITO, 2018), objetos simples como revistas (PIZARRO *et al.*, 2016), esculturas (HAFEEZ *et al.*, 2018), objetos espaciais (CAPUANO *et al.*, 2020), animais (PEZZUOLO *et al.*, 2018) e até mesmo reconstrução de tubo digestivo (WIDYA *et al.*, 2019).

Neste contexto, pode-se afirmar que a ampla utilização de Fotogrametria é decorrente de fatores como: baixo custo (PEÑA-VILLASENÍN; GIL-DOCAMPO; ORTIZ-SANZ, 2017; KORTABERRIA *et al.*, 2018), principalmente considerando a popularização dos UAs com câmeras de alta resolução acopladas (DEZEN-KEMPTER *et al.*, 2019); automatização do processamento (AMORIM, 2012; KORTABERRIA *et al.*, 2018); programas intuitivos para o processamento (BEVILACQUA *et al.*, 2018); possibilidade de diversos equipamentos para aquisição fotográfica, como *smartphone*, câmera digital e UAS (SESTRAS *et al.*, 2020); rapidez no trabalho de campo necessário para obtenção fotográfica (GROETELAARS, 2015); redução do tempo de coleta posterior de medidas e dados dos objetos (COGIMA *et al.*, 2020); possibilidades de trabalhar em diferentes escalas e objetos de estudo (AHMADABADIAN *et al.*, 2017); obtenção de textura de alta qualidade e o registro fidedigno do patrimônio edificado (POLOPRUTSKÝ, FRAŠTIA, MARČIŠ, 2019) e, especialmente em relação ao patrimônio cultural, o uso da Fotogrametria aérea é um recurso não-invasivo (COGIMA *et al.*, 2020).

Em contraponto, é necessário evidenciar que também existem limitações relacionadas aos levantamentos fotogramétricos, especialmente: na definição de parâmetros e no controle da precisão dos resultados, o que pode sugerir que seja associado a medições diretas para conferência dos elementos (GROETELAARS, 2015); as dimensões obtidas em relação ao objeto real apresentam uma margem de erro que depende do *software* utilizado para o processamento, do GSD aproximado e da qualidade das imagens, o que vai interferir na qualidade da nuvem de pontos gerada (ZHENG *et al.*, 2016; MAIWALD *et al.*, 2018; LOTTE *et al.*, 2018); quando realizado em áreas externas, o levantamento depende das condições climáticas (HEIDTMANN JÚNIOR *et al.*, 2018); superfícies homogêneas e padrões repetitivos dificultam a correspondência de imagens e, conseqüentemente, comprometem o resultado, sendo necessário um ajuste manual dos parâmetros, resultando em um tempo de processamento mais longo (MAIWALD *et al.*, 2018); a qualidade e velocidade do processamento dependem da robustez do equipamento utilizado, o que também pode comprometer o resultado obtido (KORTABERRIA *et al.*, 2018).

Ponderando essas questões, é primordial observar a confiabilidade de uma aplicação de fototriangulação, que deve ser definida pelo seu grau de precisão e nível de detalhe, especialmente a nitidez das arestas dos objetos (DOMINIK, 2017).

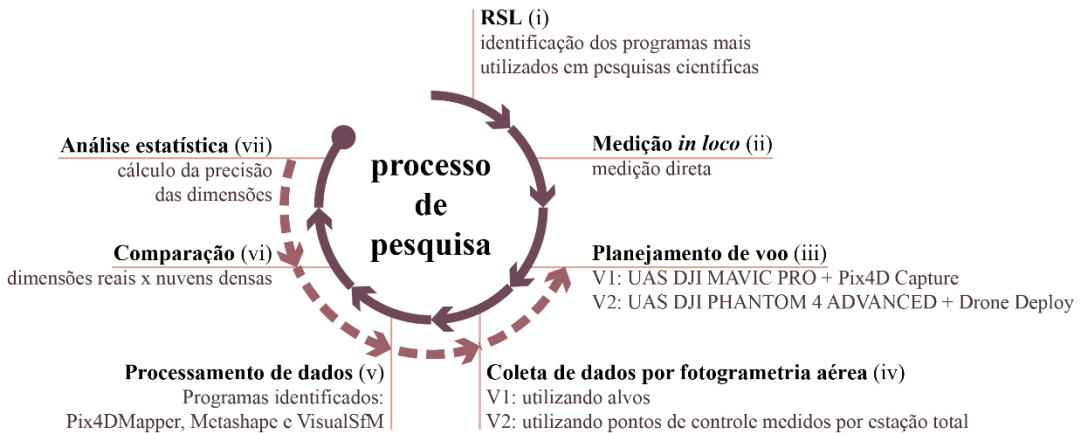
MATERIAIS E MÉTODO

Esta é uma pesquisa de caráter exploratório que buscou gerar “nuvens de pontos densa” da Capela da Fazenda Veneza a partir de DSM, utilizando os programas mais empregados em pesquisas científicas para posterior comparação da precisão das dimensões das reconstruções. Adicionalmente à comparação de *software*, foi realizada uma comparação de duas coletas de dados por Fotogrametria aérea diferentes, uma utilizando voo livre e marcadores (alvos) para redução da homogeneidade das superfícies e repetições presentes na cena (V1) e outra, utilizando trajetórias em linhas paralelas em sentido transversal e longitudinal (*double grid*) com pontos de controle medidos por estação total (V2).

O processo foi composto por sete etapas principais, Figura 2: (i) Revisão Sistemática da Literatura (RSL) para identificar *software* mais utilizados em pesquisas científicas; (ii) Medição *in loco* da edificação: medição direta; (iii) Planejamento de voo; (iv) Coleta de dados por Fotogrametria aérea com sistema de aeronave remotamente pilotada (*Unmanned Aircraft System*, UAS); (v) Processamento dos dados; (vi) Comparação das dimensões reais com as nuvens densas; e (vii) Análise estatística.

Figura 2. Processo de pesquisa exploratório adotado

Fonte:
Os autores



O computador utilizado foi um Windows 10, de 64 bits, processador I5-5600k com 3,50 GHz, 16,0 GB de memória RAM e placa de vídeo NVIDIA GeForce GTX 970, com 4GB de memória dedicada.

RSL

Para a definição dos programas a serem avaliados, foi realizada uma RSL em artigos científicos nas bases de dados: *ScienceDirect*, *Scopus* e *Web of Science*. Foram selecionados apenas artigos em periódicos, em inglês e publicados a partir do ano de 2016. Os termos foram pesquisados no resumo, título ou palavras-chave.

Para a definição dos termos de busca utilizados foram adotadas as palavras em extenso e não siglas, evitando o retorno de resultados que não atendessem à pesquisa. Verificou-se os termos mais utilizados, assim, foram inseridos “*Dense Stereo Matching*”, “*Digital surface model*” e “*Structure from Motion*”. Os termos “*Building*” e “*Reconstruction*” foram inseridos para a obtenção de resultados direcionados a reconstrução de edificações, objeto de estudo da pesquisa. Seguindo o objetivo do artigo de comparar programas para SfM, os termos “*Software*”, “*Application*” e “*Tool*” foram inseridos. Assim, o *string* de busca principal foi:

("Dense Stereo Matching" OR "Digital surface model") AND ("building" OR "reconstruction") AND ("software" OR "tool" OR "application")

A pesquisa nas bases de dados retornou os seguintes resultados: *ScienceDirect* com 60, *Scopus* com 259 e *Web of Science* com 69. Após a compilação dos artigos pela plataforma Mendeley, os artigos duplicados, os não identificados pelo filtro de idiomas inglês e cujo arquivo PDF não foi encontrado foram removidos, totalizando 263 artigos.

Os artigos foram divididos em dois grupos: os que utilizam ou não algum *software* para a realização de Fotogrametria. A partir desse filtro inicial, permaneceram 137 artigos para esta avaliação, equivalentes à 52,1% do total.

Os artigos foram segmentados segundo o tipo de obtenção das imagens para Fotogrametria: aérea, terrestre, satélite e outros [ex. subaquático (ROSSI *et al.*, 2020), jipe lunar (CARAVACA *et al.*, 2020)], Figura 3. Verifica-se que a Fotogrametria aérea lidera com 57,7% seguida da terrestre com 32,8%.

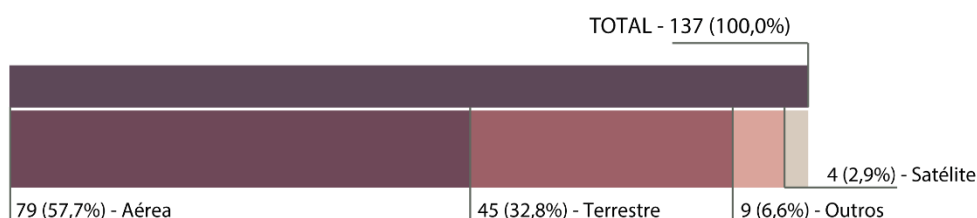


Figura 3. Tipo de obtenção das imagens para Fotogrametria

Fonte: Os autores

Em relação ao objeto de estudo, os artigos foram categorizados em quatro grupos: edificação, topografia, objeto / peças móveis e outros, Figura 4. A edificação foi foco da Fotogrametria em 27,7% dos artigos, superada apenas pela topografia, com 34,3%.

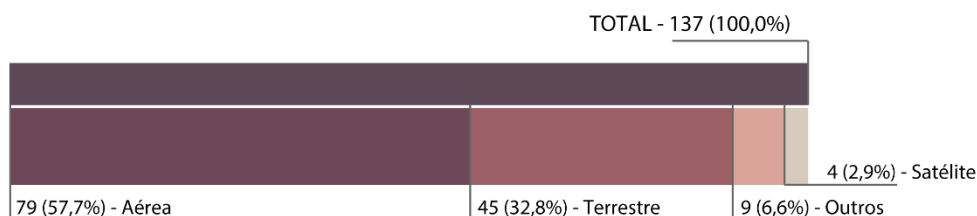


Figura 4. Objeto de estudo foco da Fotogrametria

Fonte: Os autores

A Fotogrametria foi realizada para obtenção de malha TIN ou nuvem de pontos em 93,4% e de ortofoto em 5,1% dos artigos, Figura 5.



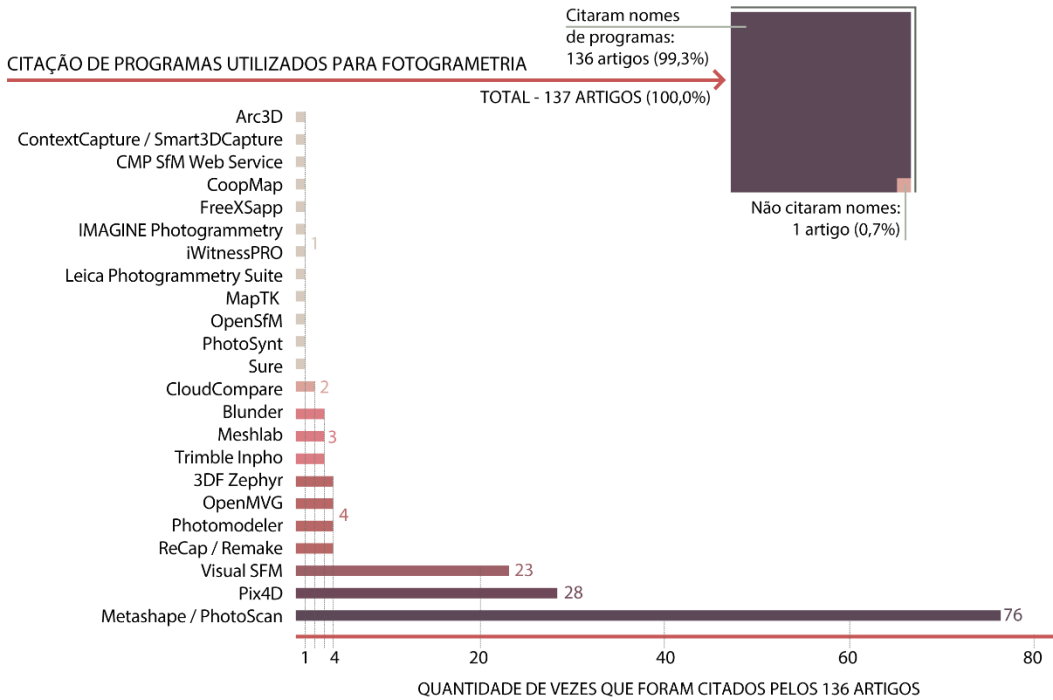
Figura 5. Output da Fotogrametria realizada

Fonte: Os autores

Por fim, foram detectados os artigos que citam algum programa utilizado para a Fotogrametria, resultando em 136 artigos (99,3%) dos 137 totais. Desses, foi tabelado e quantificado o número de vezes em que cada programa é citado, Figura 6. Observa-se que os três mais utilizados e citados foram: Agisoft MetaShape (antigo Photoscan) citado 76 vezes, seguido de Pix4D com 28 citações e VisualSFM, com 23.

Figura 6. Programas de Fotogrametria citados

Fonte:
Os autores



Nesta pesquisa foram considerados os três programas que tiveram maior representatividade para avaliação, quais sejam: MetaShape, Pix4D e VisualSfM. Os que foram citados menos de 4 vezes não foram avaliados. Corroborando, foi proposta a realização de Fotogrametria aérea para obtenção de nuvem de pontos, como identificado na maioria dos artigos. Vale ressaltar que, no caso do Pix4D, o *software* para fotogrametria a partir do levantamento por UAS é o Pix4Dmapper e por esta razão, é o utilizado para as comparações desta pesquisa.

Dentre os artigos foi possível encontrar pesquisas que realizaram a comparação entre programas de fototriangulação. Em algumas pesquisas, o foco foi avaliar os programas comerciais no quesito precisão (MAIWALD *et al.*, 2019; MIKITA *et al.*, 2020; BIANCO, CIOCCA, MARELLI, 2018; PEÑA-VILLASENÍ *et al.*, 2020) e rapidez de processamento (ALIAKBARPOUR; PALANIAPPAN; SEETHARAMA, 2017). Por outro lado, outras pesquisas buscaram avaliar um algoritmo específico desenvolvido, comparando o desempenho de programas comerciais de Fotogrametria com e sem a adição desses algoritmos (SUNG, LIN, 2017, AHMABADABADIAN *et al.*, 2017, DOMINIK, 2017).

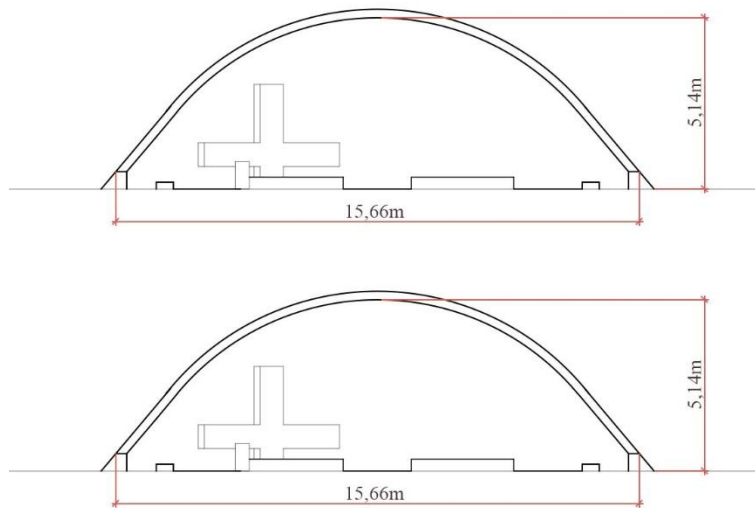
MEDIÇÃO *IN LOCO*

Foram realizadas algumas medidas *in loco* por meio de trena longa comum para possibilitar a comparação entre os resultados obtidos no processamento das imagens pelos programas testados e a situação real da edificação.

As medidas extraídas foram: comprimento (cobertura), largura (cobertura), altura (a partir do acesso principal), Figura 7.

Figura 7. Medições diretas realizadas

Fonte: Os autores



PLANEJAMENTO DE VOO

Buscando realizar duas coletas de dados, com estratégias que propiciam a combinação de pontos homólogos de diferentes maneiras, foi planejado o voo livre externo com utilização de alvos (V1) e voo autônomo externo com *double grid* e utilização de pontos de controle estabelecidos por meio de estação total (V2).

a) V1: Planejamento de voo

O planejamento do voo com a UAS foi realizado utilizando o aplicativo Pix4Dcaptureⁱ. Analisando a volumetria da edificação, a intenção inicial foi utilizar as configurações para realização de um voo circular automático para tomada fotográfica externa – recomendado para geração de modelos 3D. Porém, pelo grande número de árvores no entorno, optou-se pela realização do voo livre, ou seja, operação manual, buscando seguir uma trajetória circular, Figura 8, mas desviando dos obstáculos existentes. Adicionalmente, para garantir o voo seguro, foi necessário solicitar a poda de alguns galhos de árvores que estavam muito próximos à edificação. No interior da Capela, planejou-se realizar voo livre para captura de imagens.

Figura 8. V1 -
Planejamento de voo
circular

Fonte:
Os autores



b) V2: Planejamento de voo

O planejamento do voo com a UAS foi realizado utilizando o aplicativo Drone Deployⁱⁱ para tomada fotográfica externa. Para evitar colisões, optou-se por realizar voo a 50 metros de altura, de forma automatizada, com trajetória em *double grid*, Figura 9. No aplicativo, foi possível configurar o registro para com sobreposição longitudinal de 80% e de 70% lateral. Internamente, a tomada fotográfica também foi planejada por meio de voo livre.

Figura 9. V2 -
Planejamento de voo
com trajetória em
double grid

Fonte:
Os autores



COLETA DE DADOS

Para coleta de dados V1 e V2, foram considerados os parâmetros descritos para obtenção de resultados satisfatórios a partir da técnica de SfM. Portanto, o dia e horário dos levantamentos foram determinados a partir de previsões climáticas, visando alcançar as condições ideais de luminosidade uniforme. As tomadas fotográficas foram realizadas em um horário próximo de meio dia (Sol a pino) e tiveram duração de cerca de 40 minutos cada.

a) V1: Coleta de dados

A primeira coleta de dados foi realizada no dia 30 de abril de 2019 utilizando a aeronave DJI MAVIC PRO para coleta de imagens, Figura 10 - esquerda. Para maior precisão, foram acrescentados alvos (marcadores) nas superfícies homogêneas, com o objetivo de facilitar a identificação de *pixels* homólogos, Figura 10 - direita.



Figura 10. Aeronave sobrevoando o lago a frente da Capela (esquerda); alvos distribuídos nas superfícies homogêneas (direita)

Fonte: Os autores

Foram consideradas como superfícies homogêneas, na parte interna da edificação, os bancos e a cobertura. Na porção externa, pela cobertura ter manchas características de exposição ao tempo, não foram acrescentados alvos. Além disso, destaca-se que a UAS utilizada possui GPS integrado, ou seja, cada fotografia possui informações de georreferenciamento.

Durante a captura, a inclinação da câmera foi sendo ajustada visando o paralelismo com o plano principal que estava sendo registrado. Durante o voo circular, em áreas próximas às árvores, não foi possível garantir a sobreposição de imagens conforme recomendado.

Externamente, o voo foi operado manualmente a uma distância de 20 a 30 metros da edificação e, internamente, procurou-se manter a aeronave no ponto médio da altura total. Nesse voo foram capturadas 145 imagens. Em relação a coleta de dados, cada imagem possui a resolução 4.000 x 3.000 pixels, totalizando em 12.000.000 de *pixels* por imagem, a uma distância focal de 5mm e GSD de 1.0 cm/pix, Quadro 2.

b) V2: Coleta de dados

A segunda coleta de dados foi realizada no dia 25 de agosto de 2020 utilizando a aeronave DJI PHANTOM 4 ADVANCED para coleta de imagens. Para maior precisão, foram acrescentados pontos de controle estabelecidos por meio de estação total, Figura 11.

Figura 11. Pontos de controle medidos por estação total

Fonte:
Os autores



O voo externo foi operado de forma automatizada, a uma distância de 50 metros da edificação e, o voo interno foi realizado procurando manter a aeronave no ponto médio da altura total. Foram obtidas 282 imagens. Em relação as tomadas fotográficas, cada imagem possui a resolução 4.864 x 3.648 *pixels*, totalizando em 17.743.872 de *pixels* por imagem e GSD de 1,92 cm/pix, Quadro 1.

Quadro 1. Dados técnicos

Fonte:
Os autores

	V1	V2
Aeronave	DJI MAVIC PRO	DJI Phantom 4 Advanced
Altura de voo	20 a 30m	50m
Número de fotos	145	282
Resolução	4.000 x 3.000 pix	4.864 x 3.648 pix
Distância focal	5mm	9mm
GSD aproximado (externo)	1,00cm/pix	1,92cm/pix

PROCESSAMENTO DOS DADOS

A partir dessas coletas de dados, com a utilização das mesmas fotografias como base, os procedimentos utilizados para a geração da nuvem de pontos densa seguiram as configurações padrão de software. O processamento foi realizado nos três programas identificados como os mais utilizados em pesquisas científicas, quais sejam:

- Pix4D Pix4Dmapper (versão 4.5.6);
- Agisoft MetaShape (versão 1.5.2) e;
- VisualSFM (versão 0.5.26) com plugin CMVS/PMVS.







a) V1: Processamento

O processo seguiu basicamente os mesmos passos de inserção de imagens para criação de nuvem de pontos densa em todos os sistemas utilizados. Após a inserção das imagens, automaticamente foi detectado o sistema de coordenadas, a geolocalização, a orientação e informações sobre a câmera.

A nuvem de pontos gerada a partir das mesmas fotografias, obteve resultados diferenciados a depender do *software* utilizado, Quadro 3. As nuvens de pontos geradas pelo Pix4Dmapper e o MetaShape apresentaram maior uniformidade que no VisualSFM. Nesses programas observou-se algumas falhas somente nas regiões encobertas por galhos de árvores, enquanto, no VisualSFM, as superfícies apresentaram falhas consideráveis.

b) V2: Processamento

Para o processamento da coleta V2, foram inseridas as coordenadas dos pontos de controle, o que resultou em nuvens de pontos mais uniformes em todos os programas testados, Quadro 2. Porém, destaca-se que outras características da coleta de dados deste voo podem ter contribuído para melhores resultados, como: uma UAS com câmera que fornece fotografias com maior resolução, diferente trajetória de voo e o maior número de fotografias.

	V1	V2
Pix4Dmapper		
MetaShape		
VisualSFM		

Quadro 2. Nuvem de pontos gerada

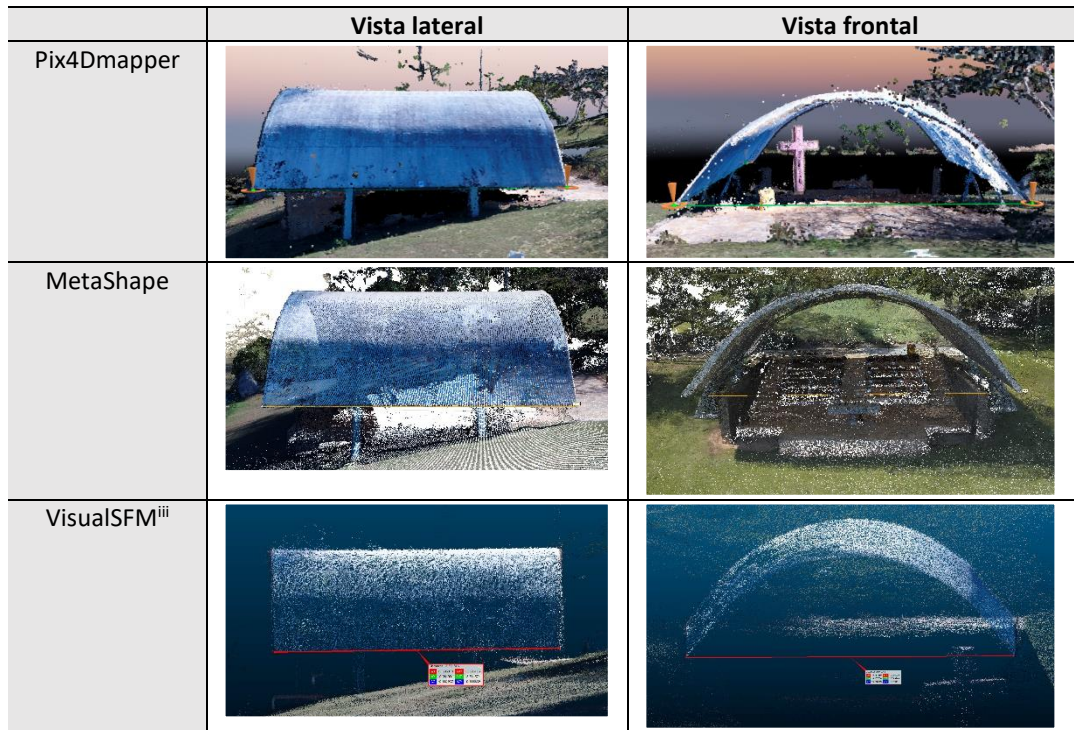
Fonte: Os autores

COMPARAÇÃO

As medidas de altura, largura e comprimento da cobertura foram realizadas nas nuvens de pontos geradas. Importante ressaltar que a nitidez das arestas das nuvens é um elemento primordial para seleção de pontos específicos para o dimensionamento. Por ser um processo manual, esse é um fator que impacta a avaliação da precisão das dimensões. Assim, foram utilizadas nuvens densas para essa medição, Quadro 3.

Quadro 3. Seleção de arestas na nuvem de pontos em V2 – linhas tênues nas imagens

Fonte:
Os autores



As medições diretas foram comparadas com as medidas obtidas nas nuvens de pontos geradas, Quadro 4. Dos três programas utilizados, o Pix4Dmapper, foi o que apresentou medidas mais próximas do real, seguido do MetaShape, tanto no V1, quanto no V2. No V2, as medições obtidas nas nuvens indicam maior precisão que no V1.

Quadro 4. Medidas encontradas *in loco* e nas ferramentas

Fonte:
Os autores

Dimensões (m)	Medições diretas	Pix4Dmapper		MetaShape		VisualSFM	
		V1	V2	V1	V2	V1	V2
Altura	5,14	5,13	5,15	5,03	5,09	5,12	5,34
Largura	15,66	15,54	15,65	15,40	15,62	12,59	15,65
Comprimento	13,72	13,48	13,78	13,50	13,70	11,64	13,56

O Pix4Dmapper e o MetaShape permitem um ajuste uniforme na escala das nuvens de pontos criadas. Como este procedimento não pode ser realizado, até o momento, no VisualSFM, o escalonamento das nuvens não foi executado.

ANÁLISE ESTATÍSTICA

O Erro Percentual (%E) das dimensões em relação à medição *in loco* foi realizado a partir da Equação 1.

Equação 1: Erro Percentual (%E) das dimensões

$$\%E = (V_e - V_r) / V_r \times 100$$

Onde:

- %E = Erro percentual, expresso em % (porcentagem);

- V_e = Valor ensaiado, nesse caso expresso em metros;
- V_r = Valor real, nesse caso expresso em metros.

A partir da Equação 1, pode-se deduzir a precisão das medidas obtidas por meio das nuvens de pontos, aplicando-se a Equação 2.

Equação 2: Cálculo da precisão

$$P = 100\% - \%E$$

Onde:

- P = Precisão, expresso em % (porcentagem)

Os valores de precisão para os três programas utilizados foram obtidos, para V1 e V2, Quadro 5.

Dimensões (m)	Pix4Dmapper		MetaShape		VisualSFM	
	V1	V2	V1	V2	V1	V2
Altura	99,81	99,81	97,86	99,03	99,61	96,11
Largura	99,23	99,94	98,34	99,74	80,40	99,94
Comprimento	98,25	99,56	98,40	99,85	84,84	98,83
Precisão média	99,09	99,77	98,2	99,54	88,28	98,29

Quadro 5. Precisão da nuvem de pontos (em relação às medições diretas)

Fonte: Os autores

Constata-se que a precisão média em V2 foi sempre superior à V1, ou seja, independente do programa utilizado, houve uma maior precisão em V2. A maior precisão média obtida foi com o Pix4Dmapper em V2, seguido do MetaShape em V2.

DISCUSSÕES

Partiu-se do princípio de utilizar as configurações padrão dos programas em todos os processamentos de dados. Embora não tenham sido utilizados pontos de controle na primeira coleta de dados (V1), foi possível constatar um nível de precisão elevado nos programas Pix4Dmapper e MetaShape. Todavia, em V2, em relação à precisão das dimensões das nuvens, os resultados obtidos no Pix4Dmapper e MetaShape alcançaram valores próximos à medição in loco, com precisões médias superiores à 99%. Vários fatores podem ter contribuído para a melhora de resultados em V2, como: (i) inserção de pontos de controle a partir de coordenadas conhecidas, (ii) UA utilizada possuía uma câmera que fornecia fotografias com maior resolução, (iii) maior número de fotografias, (iv) e diferente trajetória de voo em conjunto com a tomada fotográfica de maneira automatizada em intervalos regulares.

Observou-se que, nos resultados dos processamentos V1 e V2, a nuvem com maior precisão foi obtida com o Pix4Dmapper, seguido do MetaShape e do VisualSFM. Isso posto, conclui-se, também, que o *software* utilizado para a Fotogrametria impacta na precisão das dimensões da nuvem de pontos gerada. Os resultados encontrados estão em consonância com o apresentado por Voulmad *et al.* (2017) e Ferreira, Garcia e Oliveira (2019), em que, o VisualSFM demonstrou resultados inferiores em relação ao MetaShape.

Como pôde ser notado, todas as nuvens de pontos apresentaram falhas, principalmente, na superfície da cobertura, nas regiões em que havia obstáculos (vegetação) que impediam o voo do UA ou que ocultavam a edificação. Isso prejudicou a varredura de toda a cobertura, comprometendo a uniformidade da nuvem de pontos.

Adicionalmente, os resultados alcançados no VisualSFM apresentaram nuvens menos densas que as obtidas nos demais programas. Consequentemente, suas arestas eram menos nítidas, influenciando a seleção manual dos pontos para medição, o que impactou no cálculo de precisão. Cabe destacar que, a partir da RSL realizada, observou-se que o VisualSFM não havia sido utilizado a partir de dados de Fotogrametria aérea para levantamento de edificações, somente para levantamento topográfico (VOULMAD *et al*; 2017).

Cumprido destacar que o Pix4Dmapper e o MetaShape oferecem uma interface com o usuário que facilita o aprendizado (interação com o sistema de forma natural), que é fácil de lembrar (comandos claramente visíveis), que possui elementos navegacionais claros (ícones e rótulos compreensíveis) e que fornece *feedback* (informação sobre o processo que está ocorrendo). Em contrapartida, o VisualSFM carece desses requisitos de usabilidade, o que dificultou sua utilização e, portanto, sua eficiência. Entretanto, vale ressaltar que o VisualSFM é um *software* gratuito e que permitiu, em V2, a realização da Fotogrametria com precisão média de 98,29%.

CONCLUSÕES

A Fotogrametria Digital foi um recurso utilizado para realizar o levantamento da Capela da Fazenda Veneza, projeto do arquiteto e urbanista Décio Tozzi, em Valinhos, SP. Com isso em vista, esta pesquisa se propôs a comparar a precisão das dimensões de nuvens de pontos densas utilizando os principais programas empregados em artigos científicos que tratam de SfM. Para tanto, foi realizada uma RSL que identificou: Pix4D, MetaShape e VisualSFM. A partir de duas coletas de dados (sem e com pontos de controle – V1 e V2, respectivamente), foi realizada uma comparação para averiguar a precisão das dimensões das nuvens de pontos resultantes.

Nos resultados dos processamentos V1 e V2, o Pix4Dmapper e o MetaShape foram os que apresentaram maior precisão da nuvem. Observou-se que a precisão da nuvem de pontos é influenciada tanto pelas técnicas e equipamentos utilizados na coleta de dados, quanto pelo *software* empregado no processamento.

Esta investigação contribui para realização de futuros levantamentos Fotogramétricos, uma vez que aponta as melhores práticas para alcançar maior precisão na obtenção de nuvens de pontos densa.

Referências Bibliográficas

AHMADABADIAN, A. H. *et al*. Clustering and selecting vantage images in a low-cost system for 3D reconstruction of texture-less objects. **Measurement: Journal of the International Measurement Confederation**, v. 99, p. 185–191, 2017. ISSN 02632241. DOI 10.1016/j.measurement.2016.12.026.

ALIAKBARPOUR, H.; PALANIAPPAN, K.; SEETHARAMAN, G. Parallax-Tolerant Aerial Image Georegistration and Efficient Camera Pose Refinement - Without Piecewise Homographies. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 55, n. 8, p. 4618–4637, 2017. ISSN 01962892. DOI 10.1109/TGRS.2017.2695172.

AMORIM, A. L. DE. Fotogrametria: uma introdução. In: PRATINI, E. F.; SILVA JUNIOR, E. E. DE A. (Eds.). **Criação, representação e visualização digitais: tecnologias digitais de criação, representação e visualização no processo de projeto**. 1. ed. Brasília: Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília, 2012. p. 63–90.

BEVILACQUA, M. G. *et al.* Orientation of archive images on 3D digital models of painted vaults: an interesting tool for restorers. **Applied Geomatics**, v. 10, n. 4, SI, p. 385–398, 2018. ISSN 1866-9298. DOI 10.1007/s12518-018-0212-8.

BIANCO, S.; CIOCCA, G.; MARELLI, D. Evaluating the performance of structure from motion pipelines. **Journal of Imaging**, v. 4, n. 8, p. 1–18, 2018. ISSN 2313433X. DOI 10.3390/jimaging4080098.

BRITO, J. L. N. S.; COELHO, L. C. T. **Fotogrametria Digital**. Rio de Janeiro: UERJ, 2007. 196 p.

BRYAN, P.; BLAKE, B.; BEDFORD, J. **Metric Survey Specifications for Cultural Heritage**. Swindon: English Heritage, 2012.

BYBEE, T. C.; BUDGE, S. E. Method for 3-D Scene Reconstruction Using Fused LiDAR and Imagery From a Texel Camera. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 57, n. 11, p. 8879–8889, nov. 2019. DOI: 10.1109/TGRS.2019.2923551.

CALI, M. *et al.* Advanced 3D Photogrammetric Surface Reconstruction of Extensive Objects by UAV Camera Image Acquisition. **Sensors**, v. 18, n. 9, 2018. ISSN 14248220. DOI 10.3390/s18092815.

CALLE, M.; ALHO, P.; BENITO, G. Monitoring ephemeral river changes during floods with SfM photogrammetry. **Journal of Iberian Geology**, v. 44, n. 3, p. 355–373, 2018. ISSN 16986180. DOI 10.1007/s41513-018-0078-y.

CAPUANO, V. *et al.* Monocular-based pose determination of uncooperative space objects. **Acta Astronautica**, v. 166, n. January 2019, p. 493–506, 2020. ISSN 00945765. DOI 10.1016/j.actaastro.2019.09.027.

CARAVACA, G. G. *et al.* 3D digital outcrop model reconstruction of the Kimberley outcrop (Gale crater, Mars) and its integration into Virtual Reality for simulated geological analysis. **Planetary and Space Science**, v. 182, n. June 2019, mar. 2020. ISSN 0032-0633. DOI 10.1016/j.pss.2019.104808.

CHESLEY, J. T. *et al.* Using unmanned aerial vehicles and structure-from-motion photogrammetry to characterize sedimentary outcrops: An example from the Morrison Formation, Utah, USA. **Sedimentary Geology**, v. 354, p. 1–8, 1 jun. 2017. DOI 10.1016/j.sedgeo.2017.03.013.

COGIMA, C. K. *et al.* Scan-to-BIM aplicado à Igreja da Pampulha de Oscar Niemeyer. **Gestão & Tecnologia de Projetos**, v. 15, n. 1, p. 117–134, 2020. DOI: 10.11606/gtp.v15i1.152828.

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, p. 113–124, 2015. DOI 10.11606/gtp.v10i2.102710.

DI GREGORIO, G.; CONDORELLI, F. The piazza duomo of acireale: Significance and representation. **Lecture Notes in Civil Engineering**, v. 3, p. 421–430, 2018. ISSN 23662557. DOI 10.1007/978-3-319-57937-5_44.

DOMINIK, W. A. Exploiting the redundancy of multiple overlapping aerial images for dense image matching based digital surface model generation. **Remote Sensing**, v. 9, n. 5, p. 1–28, 2017. ISSN 20724292. DOI 10.3390/rs9050490.

DONEUS, M. *et al.* From Deposit to Point Cloud – a Study of Low-Cost Computer Vision Approaches for the Straightforward Documentation of Archaeological Excavations. **Geoinformatics FCE CTU**, v. 6, n. 0, p. 81–88, 21 dez. 2011. DOI 10.14311/gi.6.11

FERNÁNDEZ CÓRDOBA, P. A. **Levantamento fotogramétrico de monumentos arquitetônicos para projetos de restauração: estudo de caso: Palácio Itamaraty**. 2012. xxi, 156 f., il. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil)—Universidade de Brasília, Brasília, 2012.

FERREIRA, A. A. C.; GARCIA, M. V. Y.; OLIVEIRA, H. C. O. Avaliação da qualidade altimétrica de modelos digitais de terreno derivados de levantamento topográfico com VANT. XIX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. **Anais [...]**, 2019, p. 41–48.

FÓRUM DA CONSTRUÇÃO. Capela brasileira recebe Prêmio Internacional de Arquitetura Sacra. **Instituto Brasileiro de Desenvolvimento da Arquitetura (IBDA)**, 5 nov. 2008.

FRANCO JÚNIOR, J. C. **Modelagem BIM de infraestrutura urbana a partir de levantamentos aéreos com drone**. 214 p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2019.

FREY, J. *et al.* UAV photogrammetry of forests as a vulnerable process. A sensitivity analysis for a structure from motion RGB-image pipeline. **Remote Sensing**, v. 10, n. 6, 2018. ISSN 20724292. DOI 10.3390/rs10060912.

GROETELAARS, N. J. **Criação de modelos BIM a partir de "nuvens de pontos": estudo de métodos e técnicas para documentação arquitetônica**. 2015. 372 f. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) - Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2015.

GROETELAARS, N. J.; AMORIM, A. L. de. Dense Stereo Matching (DSM): conceitos, processos e ferramentas para criação de nuvens de pontos por fotografias. **Congresso de La Sociedad Iberoamericana de Gráfica Digital**, n. May 2012, p. 361–365, 2012. Disponível em http://papers.cumincad.org/data/works/att/sigradi2012_95.content.pdf . Acesso em 20 de jul. de 2020.

HAFEEZ, J. *et al.* Workflow evaluation for optimized image-based 3D model reconstruction. **Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems**, v. 10, n. 1, p. 149–154, 2018. ISSN 1943023X.

HANSMAN, R. J.; RING, U. Workflow: From photo-based 3-D reconstruction of remotely piloted aircraft images to a 3-D geological model. **Geosphere**, v. 15, n. 4, p. 1393–1408, 2019. ISSN 1553-040X. DOI 10.1130/GES02031.1.

HEIDTMANN JÚNIOR, D. E. D. *et al.* O Uso da Técnica Dense Stereo Matching para a Documentação do Patrimônio Edificado de Laguna. COBRAC 2018. **Anais...** Florianópolis: UFSC, 2018.

HINGEE, K. L.; CACCETTA, P.; CACCETTA, L. Modelling discontinuous terrain from DSMs using segment labelling, outlier removal and thin-plate splines. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 155, p. 159–171, 1 set. 2019. DOI 10.1016/j.isprsjprs.2019.07.004.

HISTORIC ENGLAND. Photogrammetric Applications for Cultural Heritage. Guidance for Good Practice. p. 128, 2017. Disponível em <https://historicengland.org.uk/images-books/publications/photogrammetric-applications-for-cultural-heritage/heag066-photogrammetric-applications-cultural-heritage/> . Acesso em 01 de jul de 2020.

HOLATA, L. *et al.* Integration of low-resolution ALS and ground-based SfM photogrammetry data. A cost-effective approach providing an “Enhanced 3D Model” of the Hound Tor archaeological landscapes (Dartmoor, South-West England). **Remote Sensing**, v. 10, n. 9, 2018. ISSN 20724292. DOI 10.3390/rs10091357.

JAUD, M. *et al.* Potential of smartphone SfM photogrammetry to measure coastal morphodynamics. **Remote Sensing**, v. 11, n. 19, 2019. ISSN 20724292. DOI 10.3390/rs11192242.

JAVERNICK, L. *et al.* Numerical Modelling of Braided Rivers with Structure-from-Motion-Derived Terrain Models. **River Research and Applications**, v. 32, n. 5, p. 1071–1081, 1 jun. 2016. DOI 10.1002/rra.2918

KORTABERRIA, G. et al. Accuracy evaluation of dense matching techniques for casting part dimensional verification. **Sensors (Switzerland)**, v. 18, n. 9, p. 1–21, 2018. ISSN 14248220. DOI 10.3390/s18093074.

LOTTE, R. G. et al. 3D façade labeling over complex scenarios: A case study using convolutional neural network and structure-from-motion. **Remote Sensing**, v. 10, n. 9, 2018. ISSN 20724292. DOI 10.3390/rs10091435.

MARTINS, G. D. et al. Avaliação de Registro Arquitetônico por Meio de Modelo Tridimensional Fotogramétrico Gerado a Partir de Câmaras Convencionais. **Anuário do Instituto de Geociências (UFRJ - impresso)**, v. 42, p. 338-348, 2019.

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**, v. 18, n. 3, p. 211–226, set. 2018. DOI 10.1590/s1678-86212018000300277

MIKITA, T. et al. Comparison of different remote sensing methods for 3d modeling of small rock outcrops. **Sensors (Switzerland)**, v. 20, n. 6, 2020. ISSN 14248220. DOI 10.3390/s20061663.

MOUDRÝ, V. et al. Comparison of leaf-off and leaf-on combined UAV imagery and airborne LiDAR for assessment of a post-mining site terrain and vegetation structure: Prospects for monitoring hazards and restoration success. **Applied Geography**, v. 104, n. May 2018, p. 32–41, 2019. ISSN 01436228. DOI 10.1016/j.apgeog.2019.02.002.

NOGUEIRA, F. M. de S. **A representação de sítios históricos: documentação arquitetônica digital**. 2010. 215 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2010.

PEÑA-VILLASENÍN, S. et al. Desktop vs cloud computing software for 3D measurement of building façades: The monastery of San Martín Pinario. **Measurement: Journal of the International Measurement Confederation**, v. 149, jan. 2020. ISSN 02632241. DOI 10.1016/j.measurement.2019.106984.

PEZZUOLO, A. et al. On-Barn PigWeight Estimation Based on Body Measurements by Structure-from-Motion (SfM). **SENSORS**, v. 18, n. 11, p. 1–12, nov. 2018. ISSN 1424-8220. DOI 10.3390/s18113603.

PIERROT-DESEILLIGNY, M.; DE LUCA, L.; REMONDINO, F. Automated Image-Based Procedures for Accurate Artifacts 3D Modeling and Orthoimage Generation. **Geoinformatics FCE CTU**, v. 6, p. 291–299, 2011. DOI 10.14311/gi.6.36.

POLOPRUTSKY, Z. et al. 3D DIGITAL RECONSTRUCTION BASED ON ARCHIVED TERRESTRIAL PHOTOGRAPHS FROM METRIC CAMERAS. **Acta Polytechnica**, v. 59, n. 4, p. 384–398, 2019. ISSN 1210-2709. DOI 10.14311/AP.2019.59.0384.

REVESZ, M. et al. SEBEpv – New digital surface model based method for estimating the ground reflected irradiance in an urban environment. **Solar Energy**, v. 199, p. 400–410, 15 mar. 2020. DOI 10.1016/j.solener.2020.01.075

ROSSI, P. et al. Detecting change in coral reef 3D structure using underwater photogrammetry: critical issues and performance metrics. **Applied Geomatics**, v. 12, p. 3–17, 2020. ISSN 18669298. DOI 10.1007/s12518-019-00263-w.

SANTORO, F. Poesia Concreta de Decio Tozzi. **AU - Arquitetura e Urbanismo**, v. 193, p. 72–75, 2010.

SESTRAS, P. et al. Feasibility assessments using unmanned aerial vehicle technology in heritage buildings: Rehabilitation-restoration, spatial analysis and tourism potential analysis. **Sensors (Switzerland)**, v. 20, n. 7, 2020. ISSN 14248220. DOI 10.3390/s20072054.

SUN, Z.; ZHANG, Y. Using Drones and 3D Modeling to Survey Tibetan Architectural Heritage: A Case Study with the Multi-Door Stupa. **Sustainability**, v. 10, n. 7, jul. 2018. ISSN 20711050. DOI 10.3390/su10072259.

SUNG, B. Y. B.-Y.; LIN, C.-H. C. H. A fast 3D scene reconstructing method using continuous video. **Eurasip Journal on Image and Video Processing**, v. 2017, n. 1, 2017. ISSN 16875176. DOI 10.1186/s13640-017-0168-3.

TEZA, G.; PESCI, A.; NINHO, A. Morphological analysis for architectural applications: Comparison between laser scanning and structure-from-motion photogrammetry. **Journal of Surveying Engineering**, v. 142, n. 3, p. 1–10, 2016. ISSN 07339453. DOI 10.1061/(ASCE)SU.1943-5428.0000172.

TOZZI, D. **Arquiteto Decio Tozzi**. São Paulo, Brasil: D’Auria Editora, 2005.

TOZZI, D. **Capela da Fazenda Veneza**. 2018. Disponível em: <https://www.deciotozzi.com/copia-villalobos>. Acesso em: 10 abr. 2019.

TREIBLE, W. *et al.* Learning Dense Stereo Matching for Digital Surface Models from Satellite Imagery. **CoRR**, v. abs/1811.0, 8 nov. 2018.

VIZIOLI, S. H. T. *et al.* O Laboratório He.Su.Tech: A Pesquisa Acadêmica Aliada À Prática Aplicada na Documentação, Representação e Preservação do Patrimônio Arquitetônico. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE MODELAGEM DA INFORMAÇÃO DA CONSTRUÇÃO E PATRIMÔNIO CULTURAL. **Anais...** São Carlos: IAU USP, 2019.

WANG, S. *et al.* Multistep rocky slope stability analysis based on unmanned aerial vehicle photogrammetry. **Environmental Earth Sciences**, v. 78, n. 8, p. 1–16, 2019. ISSN 1866-6280. DOI 10.1007/s12665-019-8145-z.

WIDYA, A. R. *et al.* Whole Stomach 3D reconstruction and frame localization from monocular endoscope video. **IEEE Journal of Translational Engineering in Health and Medicine**, v. 7, 2019. ISSN 21682372. DOI 10.1109/JTEHM.2019.2946802.

ZHENG, M. *et al.* 3D model reconstruction with common hand-held cameras. **Virtual Reality**, v. 20, n. 4, p. 221–235, 2016. ISSN 13594338. DOI 10.1007/s10055-016-0297-5.

Máira Sebastião Dias

m226706@dac.unicamp.br

Ana Regina Mizrahy

Cuperschmid

cuper@unicamp.br

Cauê Carneiro Santiago

caue.santiago@outlook.com

Marcos Alexandre Godoy

eng.marcosgodoy@icloud.com

Danielle Skubs

dskubsacademico@gmail.com

Adriana Volpon Diogo Righetto

adrivolpon@gmail.com

Melina Lopes Silva

melinalopess@outlook.com

Henrique Candido Oliveira

oliveira@fec.unicamp.br

Notas

ⁱ Aplicativo Pix4Dcapture: disponível em <https://www.pix4d.com/product/pix4dcapture>. Acessado em 04 ago. 2020.

ⁱⁱ Aplicativo Drone Deploy: disponível em <https://www.dronedeploy.com/>. Acessado em 04 ago. 2020.

ⁱⁱⁱ Vale ressaltar que o VisualSFM não possui recurso de extração de medidas da nuvem, portanto, foi necessário importar a nuvem para o *software* CloudCompare. *Software* disponível em <https://www.danielgm.net/cc/>. Acesso em 08 set. 2020.