

INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS DE AQUISIÇÃO DE IMAGENS COM AUXÍLIO DE DRONE PARA GERAÇÃO DE NUVEM DE PONTOS DE OBRAS CIVIS

Influence of Image Acquisition Parameters with Drone Aid for Point Cloud Generation of Civil Works

Jairo Pascoal Júnior
Universidade de São Paulo | São Paulo, SP | jairo.pascoal@usp.br

Ebert V. T. Mecate
MECATE Engenharia | São Paulo, SP | ebert@mecateengenharia.com.br

Eduardo Toledo Santos
Universidade de São Paulo | São Paulo, SP | etoledo@usp.br

Fabiano Rogerio Corrêa
Universidade de São Paulo | São Paulo, SP | fabiano.correa@usp.br

RESUMO

A digitalização da construção civil avançou com a incorporação de tecnologias e aplicação dos processos BIM resultando no desenvolvimento de modelos digitais das construções. Qualquer reabilitação de construções existentes desenvolvidas sem o uso de BIM e que hoje demandem sua aplicação, requer a modelagem da construção atual (*as built*) na fase inicial dos projetos de engenharia e arquitetura. O modelo 3D da construção pode ser feito pelo método *Structure from Motion* - SfM. Este artigo estuda a influência dos parâmetros para a aquisição de imagem digital usada para modelar uma construção conforme construída usando o SfM. Dois voos de drone foram realizados para aquisição de imagens digitais. Duas nuvens de pontos 3D foram geradas a partir das imagens aplicando o SfM. As diferenças encontradas entre essas nuvens de pontos foram analisadas e discutidas dentro da perspectiva da variação do conjunto de parâmetros. A relevância e o impacto de cada parâmetro são discutidos com base no uso e no objetivo da nuvem de pontos 3D. Com base nos resultados e na discussão, é indicada uma configuração para os parâmetros de aquisição de dados de imagem que melhora a aplicação do método SfM para a geração de nuvem de pontos para a geração de modelo as-built.

Palavras chave: SfM; Fotogrametria; BIM; Nuvem de pontos; Dados espaciais;

ABSTRACT

The digitization of civil construction has advanced with the incorporation of technologies and the application of BIM processes resulting in the development of digital models of constructions. Any rehabilitation of existing constructions developed without the use of BIM and that demand its application, requires modelling the existing construction in the initial phase of the engineering and architecture designs. The 3D model of the construction can be obtained by the method Structure from Motion - SfM. This article studies the influence on the digital image acquisition model parameters used to model a construction with SfM. Two drone flights were carried out to acquire digital images. Two 3D point clouds were generated from these images applying the SfM. The differences found between these 3D point clouds were analysed and discussed on to the variation on the acquisition model parameters. The relevance and impact of each parameter are discussed based on the 3D point cloud use and objective. Based on the results and discussion, a setting of image acquisition parameters is recommended, improving the application of SfM method to generate the 3-D point cloud for as built construction modelling.

Keywords: SfM; Photogrammetry; BIM; Point Clouds; 3D spatial data;

1 INTRODUÇÃO

A aquisição dos dados para a modelagem *as-built* pode ser realizada através de diferentes técnicas como levantamento cadastral a partir de medições no local, escaneamento a laser ou reconstrução 3D a partir de imagens digitais, dentre outras.

A reconstrução 3D a partir de imagens digitais, técnica *Structure from Motion* (SfM), oferece resultados com boa descrição do objeto de interesse por meio de sua representação com grande quantidade de pontos, simplicidade (fácil uso) e baixo custo devido aos equipamentos e reduzido tempo de equipe em campo para a aquisição dos dados utilizados em relação a outras técnicas (DE PAOLI; TRINDADE, 2015).

PASCOAL JÚNIOR, J.; MECATE, E.V.T.; SANTOS, E.T.; CORRÊA, F.R. influência dos parâmetros de aquisição de imagens com auxílio de drone para geração de nuvem de pontos de obras civis. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO, 2., 2019, Campinas, SP. **Anais[...]**. Porto Alegre: ANTAC, 2019. Disponível em: https://antaceventos.net.br/index.php/sbtic/sbtic2019/paper/view/205

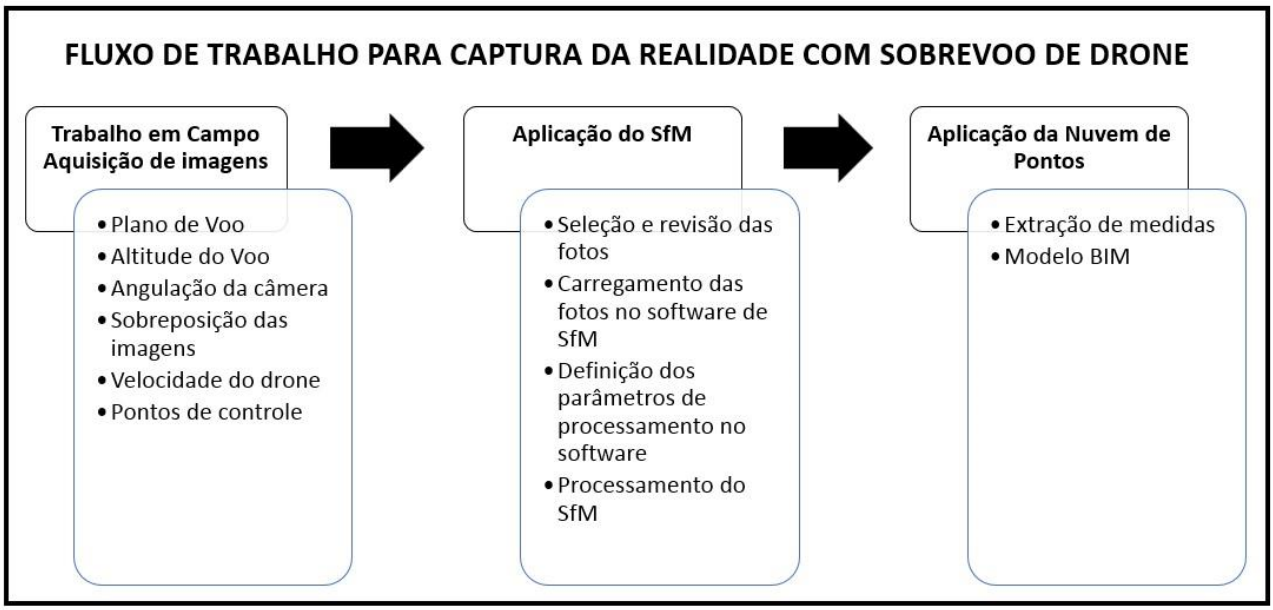
De acordo com Westoby *et al*.,(2012), o uso de drones na aquisição de imagens para aplicação do SfM tem se tornado mais comum devido aos avanços na tecnologia dos equipamentos e seu baixo custo em comparação com outras técnicas.

O fluxo de trabalho para a reconstrução 3D com a aplicação da técnica SfM contempla em geral as seguintes etapas: captura de dados; geração das nuvens de pontos (processamento SfM); e trabalho com a nuvem de pontos (HAMDANI *et al*., 2011; WESTOBY *et al*., 2012; MICHELETTI; CHANDLER; LANE, 2015).

Segundo Westoby *et al*., (2012), a reconstrução 3D, com o uso da técnica SfM, da geometria e da posição da imagem das fotos se dá simultaneamente pelo reconhecimento automático de *conjunto de pixeis homólogos* em diferentes imagens. Essas características são procuradas em cada imagem possibilitando a estimativa inicial da posição da câmera fotográfica e da coordenada do objeto que são então refinadas em um processo iterativo usando o método numérico não linear dos mínimos quadrados. Para a utilização da técnica SfM, faz-se necessário uma sobreposição entre as imagens coletadas de, no mínimo, 60% entre cada foto.

Esse estudo tem o objetivo de analisar as diferenças resultantes na nuvem de pontos, gerada com o uso da técnica *Structure from Motion*, pela variação dos parâmetros do modelo de captura da realidade com sobrevoo de drone em uma obra civil, a partir de um fluxo de trabalho usual para essa atividade conforme Figura 1.

Figura 1 – Fluxo de trabalho para captura da realidade com sobrevoo de drone



Fonte: Os autores.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Esse estudo foi realizado seguindo a metodologia *Design Science Research*. Na Figura 2, apresenta-se a obra civil escolhida para a avaliação experimental dos parâmetros do modelo de captura da realidade.

A captura da realidade foi realizada através de 2 sobrevoos, caracterizados no Quadro 1, com equipamento drone modelo Phantom 4 PRO da marca DJI, controlado com o software Pix4D Capture. O Quadro 1 apresenta os parâmetros do modelo de captura para cada sobrevoo. O Plano de voo foi definido com o uso do software Pix4D.

O processamento das imagens pela técnica *Structure from Motion* foi realizado pelo software Autodesk ReCap Photo, disponível para uso acadêmico na USP.

Figura 2 – Edificação em estudo: Edifício de Engenharia Civil e Ambiental – EP/USP



Fonte: Os autores.

Quadro 1 – Parâmetros do modelo de captura

Parâmetro (Pix4D)	Sobrevoo 1	Sobrevoo 2
Plano de Voo	Circular (diâm. 358 m)	*Grid* duplo (262x210 m)
Altitude do voo	40 m	80 m
Angulação da câmera	15°	80°
Sobreposição das imagens	A cada 4°	70 %
Velocidade do drone	Alta	Alta
Pontos de controle	Não utilizado	Não utilizado

Fonte: Os autores.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta os resultados obtidos na geração da nuvem de pontos (3D) usando a técnica SfM para os 2 sobrevoos realizados. A atividade de campo para aquisição das imagens foi realizada em aproximadamente 1 h, sendo que o sobrevoo 1 foi realizado em 9 min e 24 s, e o sobrevoo 2 foi realizado em 12 min e 18 s. As imagens capturadas têm resolução de 20 MP.

Tabela 1 – Resultados

Sobrevoo	Quantidade de fotos	Quantidade (pontos)	Área (m^2)	Densidade (pontos/m^2)	Tempo de SfM (h:m:s)
1	88	$1{,}41 \times 10^6$	$1{,}30 \times 10^5$	$1{,}08 \times 10^1$	1:34:34
2	100	$1{,}88 \times 10^6$	$7{,}72 \times 10^4$	$2{,}43 \times 10^1$	3:20:25

Fonte: Os autores.

O resultado da nuvem de pontos 3D gerada com o uso do SfM para as imagens coletadas no sobrevoo 1 é ilustrado nas Figuras 3, 4 e 5. Os detalhes da fachada da obra civil podem ser observados na Figura 3. A área capturada na reconstrução 3-D do sobrevoo 1 é maior que a obra civil de interesse (Figura 4). As medidas da largura (77,723 m) e do comprimento (186,071 m) da obra civil estão indicadas na Figura 5.

Figura 3 – Nuvem de pontos da edificação resultante do sobrevoo 1, com ênfase da fachada lateral



Fonte: Os autores.

Figura 4 – Vista superior da nuvem de pontos (3-D) gerada a partir do sobrevoo 1



Fonte: Os autores.

Figura 5 – Extração de medidas a partir da nuvem de pontos, sobrevoo 1



Fonte: Os autores.

Os resultados da nuvem de pontos gerada com o uso do SfM para as imagens coletadas no sobrevoo 2 são ilustrados nas Figuras 6, 7 e 8. O contorno da fachada da edificação pode ser observado na Figura 6. A área capturada na reconstrução 3-D do sobrevoo 2 é ajustada à obra civil de interesse (Figura 7). A largura (77,282 m) e o comprimento (185,498 m) da edificação estão indicadas na Figura 8.

Figura 6 – Nuvem de pontos da edificação resultante do sobrevoo 2, com ênfase da fachada lateral



Fonte: Os autores.

Figura 7 – Nuvem de pontos da edificação gerada a partir do sobrevoo 2



Fonte: Os autores.

Figura 8 – Extração de medidas a partir da nuvem de pontos, sobrevoo 2



Fonte: Os autores.

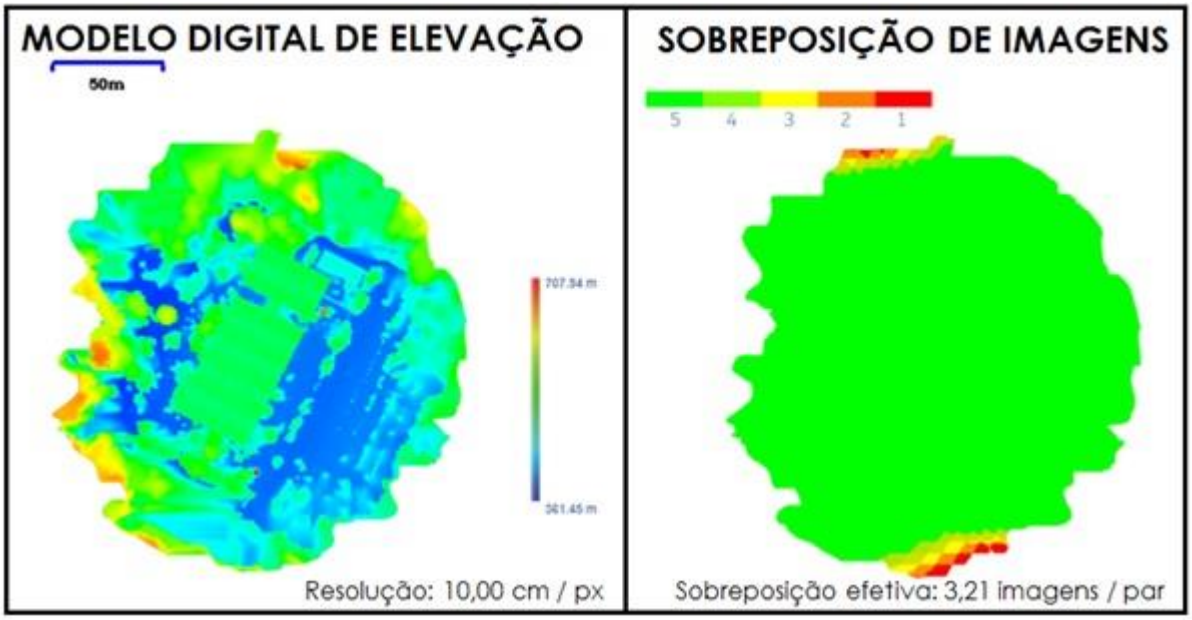
As Figuras 9 e 10 apresentam o Modelo Digital de Elevação (MDE) gerado por SfM e a sobreposição das imagens no processamento SfM, para os sobrevoos 1 e 2 respectivamente.

As nuvens de pontos resultantes dos 2 sobrevoos realizados têm quantidades de pontos da ordem de 10^6, e densidade de pontos da ordem de 10^1 por m^2. A atividade de extração de medidas da nuvem de pontos foi possível com o resultado obtido, e o tempo total de processamento do SfM se mostrou viável para a aplicação de extração de medidas do *as-built*.

O Plano de voo *grid* duplo (sobrevoo 2) resultou uma nuvem de pontos com densidade 2,25 vezes maior que a do plano de voo circular (sobrevoo 1). A quantidade total de pontos nas nuvens geradas em cada plano de voo difere em 33%, enquanto as áreas totais reconstruídas diferem em 68%. O plano de voo circular tem a menor quantidade total de pontos, mas tem a maior área reconstruída, resultando nessa grande diferença de densidade entre as nuvens resultantes. Nas Figuras 4 e 7 é possível visualizar esse contraste das áreas reconstruídas na nuvem de pontos.

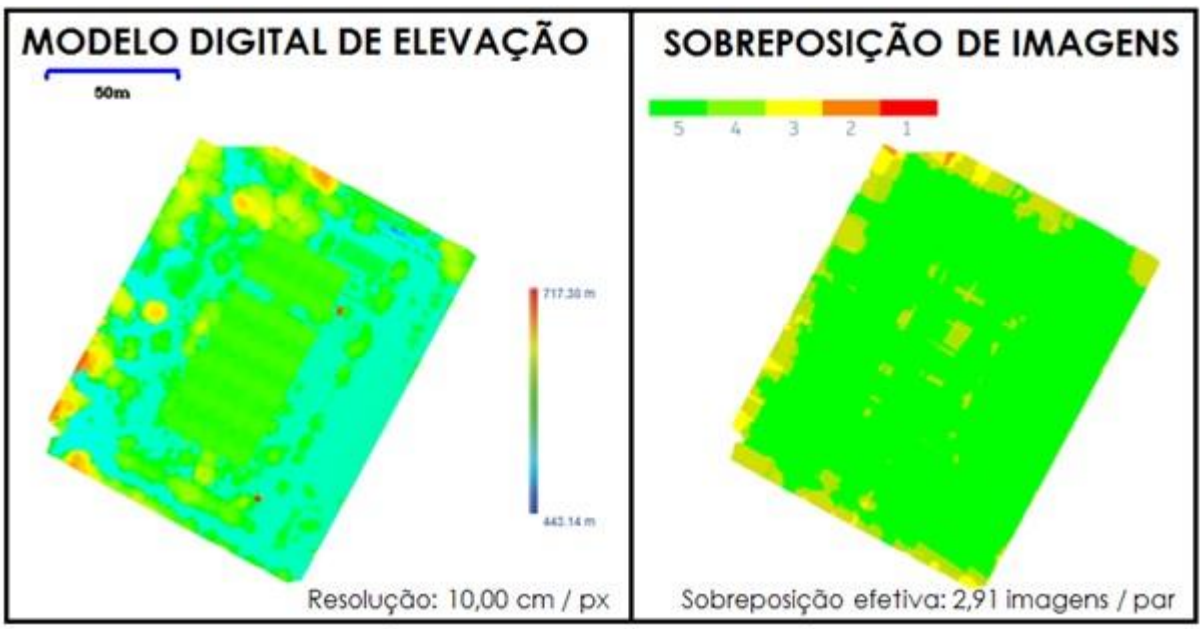
A área voada no sobrevoo 1 (plano de voo circular, Quadro 1) é 1,01 x 10^5 m^2, com área reconstruída na nuvem de pontos de 1,30 x 10^5 m^2. A área voada no sobrevoo 2 (plano de voo *grid* duplo, Quadro 1) é 5,50 x 10^4 m^2, com área reconstruída na nuvem de pontos de 7,72 x 10^4 m^2.

Figura 9 – MDE por SfM e taxa de sobreposição de imagens do SfM, sobrevoo 1



Fonte: Os autores.

Figura 10 – MDE por SfM e taxa de sobreposição de imagens do SfM, sobrevoo 2



Fonte: Os autores.

O voo circular capturou as imagens com a câmera em ângulo aproximado de 15° (ângulo em relação ao horizonte local do drone no sentido do nadir), o que possibilita o registro de características verticais da obra civil com riqueza de detalhe como pode ser constatado na Figura 3, se comparado com a visualização apresentada na Figura 2. O voo *grid* duplo capturou as imagens com a câmera em ângulo de 80°(ângulo em relação ao horizonte local do drone no sentido do nadir), o que não possibilita o registro de características verticais da obra civil com detalhe, como pode ser constatado na Figura 6, onde não se visualiza os detalhes da fachada que são apresentados na Figura 2 e bem visualizados na Figura 3. Contudo, a resolução da cobertura da obra civil reconstruída nas nuvens de pontos é melhor com a captura das imagens no voo *grid* duplo, como se verifica na comparação das Figuras 5 e 8.

A influência da variação dos parâmetros de aquisição de imagem, dependendo do objetivo de uso da nuvem de pontos, pode ser positiva ou negativa como constatado com a angulação da câmera. Quando se busca detalhes de características verticais, um dos ângulos escolhidos se mostrou mais adequado, contudo, para detalhes da cobertura (ou paralelos à superfície) o ângulo no outro extremo da faixa de variação se mostrou melhor. Dessa forma, os parâmetros de aquisição de imagem com sobrevoo de drone devem ser avaliados e definidos em função dos objetivos de uso da nuvem de pontos.

A técnica de SfM requer que exista a sobreposição de imagens com mínimo de 60%. Analisando os mapas de sobreposição de imagens apresentados nas Figuras 9 e 10, constata-se que as definições realizadas foram satisfatórias, pois a sobreposição efetiva foi de 3,21 e 2,91 imagens/par para o voo circular e o voo *grid* duplo respectivamente.

As Figuras 9 e 10 apresentam os modelos digitais de elevação para os voos circular e grid duplo respectivamente. Nos 2 casos estudados, as faixas de variação da altimetria não são representativas da realidade capturada. O entorno da obra civil capturada é praticamente plano, a Figura 2 possibilita essa visualização. A edificação tem uma altura de aproximadamente 20 m e algumas arvores no seu entorno chegam a alturas de até 27 m. Os voos foram realizados a 40 e 80 m de altura da superfície e as respectivas altitudes registradas nos dados EXIF das imagens capturadas para os respectivos voos são da ordem de 707,30 m e 748,30 m. Assim a estimativa da altitude da superfície em cada voo deveria ser de 667,30 m e 668,30 m respectivamente e as altitudes da obra civil capturada e das árvores em seu entorno deveria variar entre 687,30 m a 694,30 m e 688,30 m a 695,30 m respectivamente. As faixas de variações de altitudes apresentadas são de 361,45 m a 707,94 m e de 443,14 m a 717,30 m, respectivamente. A estimativa de altitude gerada para as 2 nuvens de pontos apresentou resultados errados. Dessa forma, os pontos de controle georreferenciados devem ser utilizados quando a altimetria é fundamental no objetivo de uso da nuvem de pontos. Não foram utilizados pontos de controle nos 2 voos desse estudo.

4 CONCLUSÕES

As variações nos parâmetros do modelo de aquisição de imagens para a utilização do SfM influenciam no resultado da nuvem de pontos da reconstrução, devendo ser definidos adequadamente em função dos objetivos de uso da nuvem de pontos.

A reconstrução de uma obra civil gerando uma nuvem de pontos através da técnica SfM se confirmou como uma alternativa de custo acessível, baixo, e de rápida execução. A densidade de pontos, 10 a 25 pontos/m^2, e a precisão entregues para as atividades seguintes do fluxo do trabalho são muito boas, o tempo total máximo de execução das etapas 1 e 2 do fluxo da Figura 1 não ultrapassa 5 horas nos casos estudados.

Pontos de controle georreferenciados devem ser utilizados quando a altimétrica for relevante ou necessária a extração de medidas verticais, as Figuras 9 e 10 apresentam modelos digitais de elevação com faixa de variação altimétrica incompatíveis com a realidade capturada.

A angulação da câmera para tomada das imagens é importante para detalhamento de vistas laterais/elevações das obras civis (objeto de interesse) e extração de medidas verticais, comparação entre as Figuras 3 e 6.

Plano de voo circular resulta em reconstrução de uma área maior que a de interesse com uma densidade de pontos por m^2 menor. Isto decorre de 2 fatos: a circunscrição de um objeto de interesse retangular com um sobrevoo circular resulta em uma área voada maior que o objeto alvo, o que resulta em uma área reconstruída também maior, e quanto menor o ângulo da câmera (ângulo em relação ao horizonte local do drone no sentido do nadir) maior será a área de captura para reconstrução. O controle da angulação da câmera é relevante para adequação da área de captura das imagens e consequente área de reconstrução. O software de controle de voo utilizado nesse estudo não habilita esse controle. A Figura 4 possibilita a visualização de um anel periférico com resolução/definição menor que a resolução/definição da área central da nuvem de pontos. A Figura 7 possibilita visualizar uma situação onde não ocorre essa diferença acentuada entre a periferia e a área central.

Uma eventual combinação entre imagens de planos de voo circular com *grid* duplo pode levar à uma melhor definição e referenciamento da altimetria do objeto. Não foi possível realizar esse caso devido ao

limite de 100 imagens por processamento para a licença em uso do software. Esse cenário será objeto de um processamento futuro.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à MECATE ENGENHARIA pela disponibilização do equipamento drone para a realização do sobrevoo de aquisição dos dados e à AUTODESK pela licença de uso estudantil dos *softwares* RECAP e RECAP Photo.

REFERÊNCIAS

DE PAOLI, B. L.; TRINDADE, C. A. **Boas práticas do uso da técnica de Structure from Motion**. (Douglas Francisco M. Gherardi; Luiz Eduardo O. e Cruz Aragão, Ed.) In: XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, João Pessoa. **Anais**... João Pessoa: 2015. Disponível em: http://www.dsr.inpe.br/sbsr2015/files/p1423.pdf. Acesso em: 12 jun. 2018.

HAMDANI, M. A.; HASHIM, K. A.; ADNAN, R.; MANAN SAMAD, A. 3D images processing of structural building using digital close-range photogrammetric approach. In: 2011 IEEE 7th International Colloquium on Signal Processing and Its Applications, CSPA 2011, **Proceedings…,** 2011.

MICHELETTI, N.; CHANDLER, J. H.; LANE, S. N. **Structure from Motion (SfM) Photogrammetry**. British Society for Geomorphology Geomorphological Techniques, v. 2, n. 2, 2015. Disponível em: http://geomorphology.org.uk/sites/default/files/geom_tech_chapters/2.2.2_sfm.pdf. Acesso em: 12 jun. 2018.

WESTOBY, M. J.; BRASINGTON, J.; GLASSER, N. F.; HAMBREY, M. J.; REYNOLDS, J. M. 'Structure-from-Motion' photogrammetry: A low-cost, effective tool for geoscience applications. **Geomorphology**, v. 179, p. 300–314, 15 dez. 2012. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169555X12004217. Acesso em: 12 jun. 2018.