Aplicação de mini VANTs em Modelos 3D em escala real para preservação cultural de construções históricas.

Thiago J. M. Baldivieso[1], Alexandre S. Boente[1], Taise G. S. Batista[1], Paulo F. F. Rosa[1]

[1]Instituto Militar de Engenharia – (IME)
Praça Gen. Tibúrcio, 80 – 22290-270 – Rio de Janeiro – RJ – Brazil

Abstract. *The historical and cultural past of a city is the key point of the concept of intelligent cities, because the past is linked to how the city is seen and its consolidation. Therefore the preservation of historical structures, buildings and cultural assets is of great importance. This article presents a methodology for 3D reconstruction of a historic building by photogrametry with small, unmanned Air Vehicles (UAVs) for later 3D reconstruction for the Babylonian Palacet. The object of study is a historical construction of the year 1866, located in the Military High School of Rio de Janeiro. Three mini-drone models were used, testing applications of flight mission planning and execution, use of different software for the generation of 3D model reconstruction, model adjustments and the printing of the three-dimensional model generated in order to preserve historical construction.*

Resumo. *O passado histórico e cultural de uma cidade é o ponto chave do conceito de cidades inteligentes, pois o passado está atrelado a como a cidade é vista e a sua consolidação. Por isso a preservação cultural de estruturas históricas, edifícios e bens culturais é de grande importância. Este artigo apresenta uma metodologia para reconstrução 3D de edifício histórico através de fotogrametria com VANTs (Veículos Aéreos não-Tripulados), de pequeno porte, para posterior reconstrução 3D do Palacete da Babilônia. O objeto de estudo trata-se de uma construção histórica do ano de 1866, situada no Colégio Militar do Rio de Janeiro. Foram utilizados três modelos de mini drones, testando aplicativos de planejamento e execução da missão de voo, uso de softwares diferentes para geração da reconstrução do modelo 3D, ajustes do modelo e a impressão do modelo tridimensional gerado com intuito de preservação da construção histórica.*

1. Introdução

A conservação de edifícios históricos é crucial para a preservação cultural de uma comunidade, nação ou grupo social. Portanto, o acesso a uma descrição tridimensional de tais bens é valioso e possivelmente crucial para o processo de reconstrução e restauração. A representação tridimensional (3D) de um objeto de interesse pode ser obtida usando técnicas de mapeamento 3D com fotogrametria [1] e [11]. Além da popularização dos sistemas de veículos aéreos não tripulados (VANTs)[4], a coleta e o processamento de informações podem ser automatizados usando planejamento de missão e aplicativos de superfície 3D prontos para uso [6]. O presente trabalho tem como foco avaliar o uso de VANTs para a reconstrução de maquete em grande escala de edifícios em uma cidade com centenas de bens históricos e culturais [10]. Especificamente, o presente trabalho

tem como foco o estudo de caso de reconstrução 3D do “Palacete da Babilônia” na Figura 1, edifício histórico do complexo da Escola Militar do Rio de Janeiro.

O desenvolvimento e popularização de tecnologias proporcionam uma maior conexão e comunicação além de amparar o desenvolvimento humano e social. As tecnologias que tornam eficientes as tarefas de uma cidade contribuem ao conceito de cidades inteligentes que visam aumentar a qualidade de vida da população empregando tecnologias para gerenciar recursos e ações coletivas. As cidades inteligentes envolvem antes do conceito de modernização a consideração do passado histórico e cultural do local que enriquecem a forma como a cidade é vista. Desta forma a preservação histórica é de suma importância, como por exemplo neste estudo, em que a preservação de espaços e informações históricas por meios de modelos digitais contribuem a consolidação da memória local [11]. A forma da geração dos modelos que utilizam da tecnologia dos drones e a conservação dos dados são eficientes e inovadoras e estimulam o desenvolvimento da transformação digital sustentável.

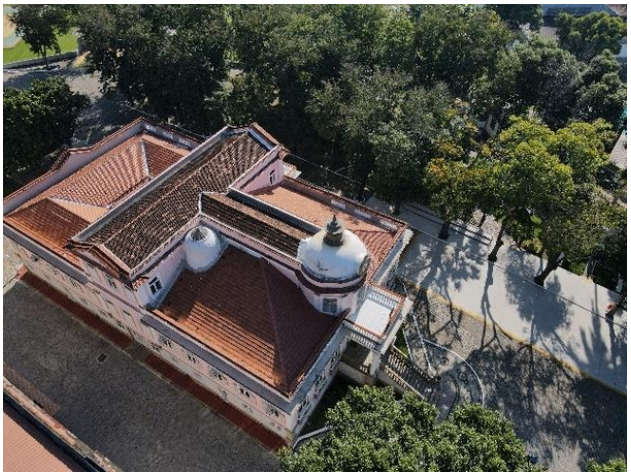


Figura 1. ”Palacete da Babilônia” fotografia aérea pela aeronave Mavic Air2

As seções seguintes apresentam a metodologia, seguida dos materiais e métodos utilizados neste trabalho. A Seção 3 apresenta o resultado do modelo final impresso em 3D em PLA e discussão, finalizando com Conclusão na seção 4.

2. METODOLOGIA

O presente trabalho tem como objetivo geral apresentar como a fotogrametria [2] com VANT de pequena escala pode contribuir para a reconstrução 3D de edifícios históricos. Além disso, ferramentas tecnológicas permitem a preservação cultural por meio do arquivamento de modelos 3D que podem ser usados como referência para futuras restaurações. Esta seção apresentará a metodologia utilizada para o estudo de caso na reconstrução do modelo 3D do “Palacete Babilônia” da Figura 1, utilizando fotogrametria por drone. A elaboração do trabalho utilizou três modelos diferentes de aeronaves, com o Mavic Air 2, Spark e Mavic Pro e um piloto conseguiu realizar várias missões de imageamento, pela portabilidade e voos automatizados. Os tópicos seguintes apresentam a metodologia dividida em duas etapas: o planejamento e reconstrução.

2.1. PLANEJAMENTO E FERRAMENTAS DA MISSÃO

Em primeiro momento, a missão requer avaliação das condições climáticas, um aspecto limitante do uso de drones em pequena escala. A Tabela 1 mostra dados obtidos pelo site UAVForecast.com que fornece informações adequadas para o voo, partes em verde demonstram índices favoráveis para voo e em vermelho condições não recomendadas devido a quantidades de satélites bloqueados na data da missão. Estudos indicam que a melhor hora para realização do voo é por volta do meio-dia [1], quando as sombras têm pouca influência nas imagens. Um dia nublado também pode fornecer condições de imagem favoráveis e também se estiverem disponíveis boas condições de voo, porém grandes aglomerações de nuvens podem causar interferências magnéticas no sensor de compasso magnético embarcado na aeronave. Também deve-se considerar que a luz difusa pode afetar a velocidade de disparo da câmera e a qualidade da imagem.

Alguns fatores são considerados antes da missão, como por exemplo a escolha do cartão micro SD, visto que a escolha de um cartão micro SD é um fator essencial. Um cartão de baixa capacidade de gravação pode interferir na qualidade de gravação do conjunto de imagens obtidas. Nos experimentos foi utilizado cartão SD do tipo 10 com leitura de até 160 MB/s e gravação de até 90 MB/s de alta velocidade e ideal para fotografias de filmagens de alta resolução. Considerando que a sequência de fotos deve ter uma boa sobreposição, foi utilizado 80% na sobreposição frontal e 75% na sobreposição lateral.

Sábado 12/06/2021: Nascer do sol 06:30, por do sol 17:15										
Tempo	Vento em 60m	Raias em 60m	Temp	Prob. Precip.	Capa Nuvem	Visibilidade	Sats Visíveis	Kp	Sats Est. Bloq	Bom pra voar?
10:00	8 km/h	22 km/h	20°C	-	90%	16 km/h	13	1	12.7	não
11:00	9 km/h	23 km/h	21°C	-	89%	16 km/h	10	1	9.6	não
12:00	12 km/h	26 km/h	21°C	-	86%	16 km/h	9	1	8.9	não
13:00	14 km/h	28 km/h	21°C	-	74%	16 km/h	10	1	9.8	não
14:00	15 km/h	29 km/h	21°C	-	70%	16 km/h	11	1	11.0	não
15:00	14 km/h	27 km/h	21°C	-	52%	16 km/h	13	1	12.6	sim

Tabela 1. UAVForecast.com informações para vôo

Identificando os aplicativos de automação de voo que são essenciais, foi verificada a compatibilidade do modelo do drone com os aplicativos. Para este trabalho três aplicativos de voo de drones foram usados: Copterus, Litchi e Dronelink. O drone Mavic Pro é compatível com a maioria dos aplicativos de prateleira, como PIX4D e Dronedeploy. O drone Spark também funciona com o PIX4D, mas possui modos de voo automatizados restritos, o que requer voos no modo manual. O drone Mavic Air 2 funciona com Dronelink e Copterus, que funciona exclusivamente em modelos de smartphones da Apple.

O vôo orbital requer ajustes de velocidade angular, medição de raio, altura do círculo e intervalo de tomada de imagem. Primeiro, o operador constrói o polígono, linha ou círculo centrado na construção, ajusta a altura prevendo a segurança e verifica com o GSD (do inglês, *Ground Sample Distance*, amostragem do terreno na imagem [8]) desejado para obter o máximo de detalhes possível da construção. Segundo, a confirmação do tempo da missão e do tempo de bateria do drone. A possibilidade de dividir a missão em partes foi desnecessária, considerando as dimensões da construção alvo. Consequentemente, uma bateria é suficiente para uma missão simples. Por fim, o drone com maior autonomia de bateria é o Mavic Air 2, seguido de perto pelo Mavic Pro.

A Figura 2 mostra o aplicativo Litchi, no qual se cria um ponto de interesse (POI),

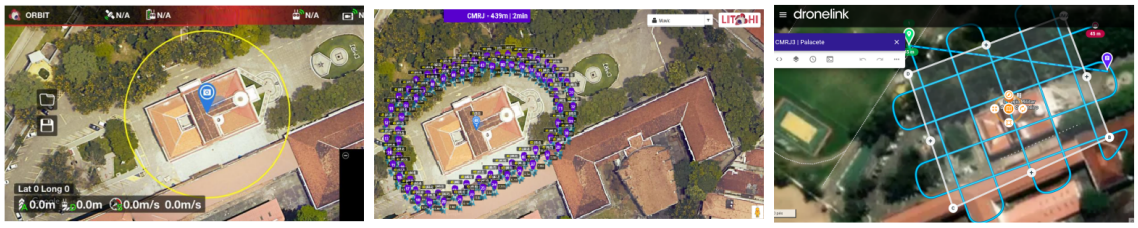


Figura 2. Modo de voo em órbita e waypoints no aplicativo Litchi e voo cruzado no aplicativo Dronelink.

referenciando o gimbal para direcionar a câmera do drone. A determinação da altura deste ponto influencia o ângulo do gimbal, neste caso utilizou-se altura de 6 metros. A Figura 2 parte central mostra o modo waypoints, onde é possível determinar uma ação para cada ponto da trajetória escolhida. Na Figura 2 à direita mostra-se o padrão de grade no aplicativo Dronelink, que é uma das alternativas de padrão de voo bastante abrangentes. O aplicativo escolhido para missão deve fornecer automaticamente todas as informações essenciais para a reconstrução do modelo com os dados da câmera do drone. Vôos manuais também foram necessários para contornar outra construção no lado esquerdo do prédio alvo e perto de árvores na parte de trás e no lado direito.

A solução utilizada neste caso de estudo não requer calibração prévia da câmera. Além disso, as coordenadas geográficas reais do terreno foram pontos de apoio retirados das imagens do Google Earth. Dessa forma, conjuntos desalinhados de pontos esparsos poderamm ser corrigidos quando visivelmente não se alinhavam com os mapas do aplicativo. Além disso, esse procedimento corrigiu um problema na construção de pontos no software Agisoft Metashape, permitindo que o operador o utilizasse para realizar a pós-calibração automática das câmeras dos drones utilizados. A interseção espacial foi o principal georreferenciamento utilizado. Posição e orientação de duas em duas imagens, de acordo com o princípio da estereografia.

Copterus foi o último aplicativo testado, que funciona a partir de um smartphone. Ele também possui várias outras funcionalidades semelhantes aos aplicativos anteriores. A configuração da foto 4:3 foi ideal, pois usando 16:9, há perda de pixels, comprometendo a sobreposição das imagens. Alguns recursos do Mavic Air 2, como o smartphoto e os 48 Megapixels, que ajudam a reduzir o ruído das fotos, não estão disponíveis no drone Mavic Pro. O recurso de foto digital negativa (DNG) também não estava disponível. Esses recursos também são opções indisponíveis no drone Spark.

A matemática envolvida está na relação entre as translações e rotações do drone nos três eixos X, Y e Z que ocorrem com os movimentos do drone e a construção de alvos fixos. A distância focal, o número de pixels do sensor da câmera e as dimensões do sensor também são fixas [7] e associadas ao sistema fiducial. Portanto, usando as informações acima é possível construir uma projeção do centro de perspectiva da câmera (CP) para os pontos do objeto real. Os drones utilizados têm a função essencial de armazenar as coordenadas obtidas pelo GPS e a altura em cada imagem, facilitando o alinhamento das fotos pelos programas de reconstrução 3D.

A similaridade entre triângulos pode ser calculada pela relação de irregularidade das alturas encontradas na construção. A Figura 3(a) mostra essa abordagem que pode

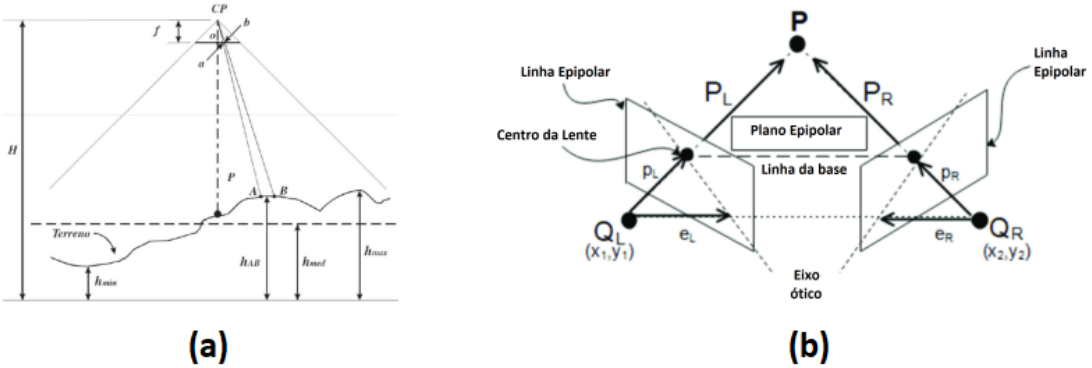


Figura 3. (a) Relação Geométrica entre fotografia e cenário quando o terreno é irregular[3]; (b) Geometria Epipolar [9]

ser organizada na seguinte equação 1:

$$\frac{f}{H - h_{AB}} = \frac{ab}{AB} \tag{1}$$

Geometria epipolar [5] e conceitos de visão estéreo de visão estéreo são usados aqui para reconstruir um modelo 3D como o descrito na Figura 3(b). Então, tomando os pontos homólogos em imagens 2D, é possível descrever a visão 3D do objeto por duas câmeras em locais diferentes e os pontos projetados no espaço.

Com o conhecimento das dimensões dos pixels, podemos transformar este sistema e a equação fiducial 2 abaixo:

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Sx & 0 \\ 0 & -Sy \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x - \frac{(W-1)}{2} \\ y - \frac{(H-1)}{2} \end{bmatrix} \tag{2}$$

Onde: x' e y' as coordenadas do sistema fiducial. Sx e Sy são dimensões de pixel, e X e y são as coordenadas no sistema de tela.

2.2. FERRAMENTAS DE RECONSTRUÇÃO 3D

As técnicas de reconstrução tridimensional se tornaram difusas com muitos aplicativos disponíveis para aplicação da técnica [11]. Desta forma, verificar as formas de melhorar o modelo gerado ou modificar a técnica buscando inovação se tornaram alvo de pesquisas. Com diferentes ferramentas disponíveis é necessário identificar o potencial de cada uma e as características particulares que apresentam. O processo de reconstrução, de modo geral, utiliza as imagens como dado de entrada, extrai os detalhes contidos em cada imagem e com uma correspondência dos pontos gerados constrói nuvens de pontos, malhas e por fim o modelo 3D. Cada ferramenta implementa este processo com parâmetros próprios.

Utilizamos três softwares de reconstrução 3D denominados Meshroom, Open Drone Map e Agisoft Metashape. Metashape fornece um fluxo de trabalho fácil e customizável. O operador começa adicionando as fotos do drone. Depois disso, é possível usar o software de avaliação de fotos e selecionar apenas imagens acima de 70% de qualidade. Em seguida, é necessário verificar o sistema de coordenadas geográficas.

Os fluxos de trabalho do software prosseguem com o alinhamento, onde a nuvem esparsa é gerada. Depois disso, o fluxo de trabalho inclui uma densa nuvem de pontos, construção de malha e textura. Por fim, o algoritmo Metashape faz um trabalho muito elaborado analisando pontos homólogos, o que leva a bons resultados.

O software Meshroom apresentou a operação mais automatizada. Após adicionar as imagens, o operador segue um pipeline simplificado. O software Open Drone Map (ODM) é um software aberto semelhante ao fluxo de trabalho de processamento de malha. Com poucos comandos, o algoritmo inicia o processamento e entrega o modelo 3D finalizado.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O Software Dronelink apresentou um número mais significativo de padrões de voo automatizados. O operador tem a possibilidade de usar um computador para planejar a missão. O Dronelink permite simular missões com antecedência, permitindo avaliar diversos dados como tempo de voo, trajetos do mapa, velocidades, alturas, fotos e obtenção de métricas observadas na Figura 2. Softwares testados como Copterus e Litchi apresentaram menos opções de trajetórias e restrições de aparelhos compatíveis.

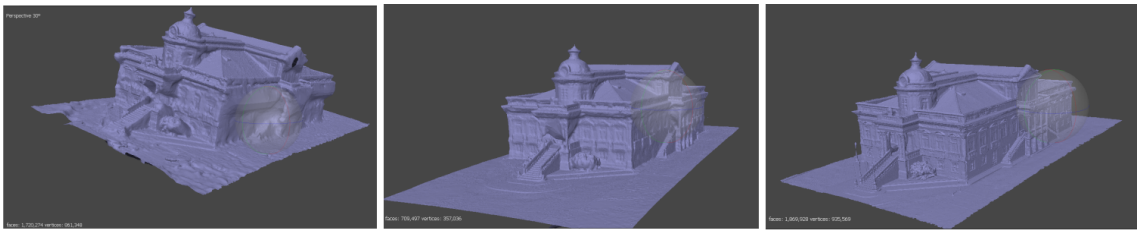
Na geração do modelo o Agisoft Metashape apresentou resultados satisfatórios. Ocorreu um problema ao usar as imagens do drone Spark obtidas pelo aplicativo padrão. Mesmo usando as fotos manuais adicionais que cobrem a falta de imagens na lateral e no fundo do prédio, houve truncamento perceptível. A marcação de pontos comuns referentes às coordenadas geográficas e altura obtidas no Google Earth nas imagens manualmente poderia corrigir esse problema, gerando um aumento considerável no trabalho manual. O drone Spark também possui um sensor mais antigo que possui apenas imagens jpeg, gerando resultados mais insatisfatórios.

O processamento no Meshroom foi mais demorado, dificultando a realização de muitas variações nos testes. Além disso, o resultado apresentado não foi superior ao das demais ferramentas. No entanto, é um software livre que, juntamente com o Meshlab, oferece muitas possibilidades de geração e correção do modelo 3D. Foi necessário corrigir o modelo entregue em Metashape, que não faz correções na peça entregue. Portanto, é uma alternativa utilizar o Meshlab na sequência de geração do modelo para impressão.

A Figura 4 apresenta a sequência do resultado com diferentes quantidades de imagens e formatos. 7(a) Resultado com Mavic Pro: 249 imagens em formato em 16:9 (tamanho4000 x 2250); 7(b) Resultado com Mavic Air 2: 697 imagens em formato 4:3 Resultado com Mavic Air 2: 697 imagens em formato 4:3; 7(c) Resultado Mavic Air 2 com 526 imagens, separados por grupos de faces do objeto.

ODM e Metashape fornecem muitas informações de processamento, incluindo relatórios detalhados. Assim, são ferramentas potentes que podem ser utilizadas para construir a ortofoto do terreno. Todos os programas funcionaram no Windows com o principal gargalo na RAM. Demora muito para processar, mesmo com uma máquina com 16 Gb.

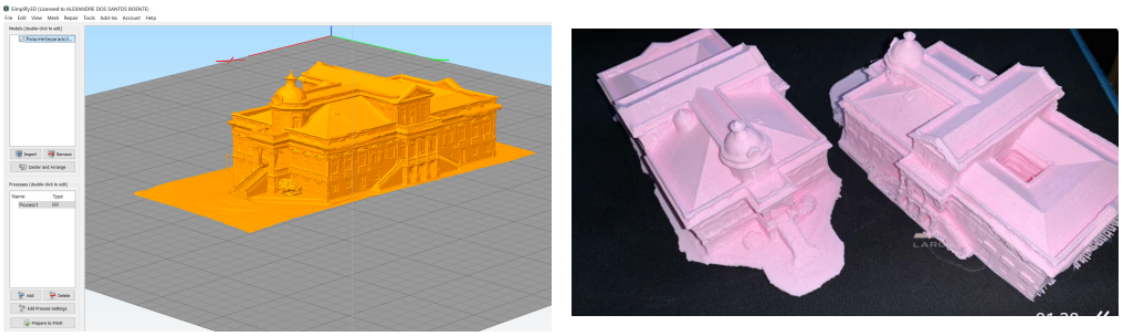
O resultado final dos modelos tridimensionais gerados a partir da construção histórica teve que ajustar sua malha para ser impresso em uma impressora 3D Fused Deposition Modeling (FDM). A Figura 5(a) mostra que o arquivo no software Simplify 3D



(a) (b) (c)

Figura 4. Resultados com (a) Mavic Pro: 249 imagens; (b) Mavic Air: 697 imagens; (c) Mavic Air 2: 526 imagens

estava com as configurações de firmware apropriadas para operação com a impressora. A Figura 5(b) mostra o software Sethi3D S3 também testado para o modelo de impressora.



(a) (b)

Figura 5. (a) Modelo 3D no software Simplify 3D para impressão, (b) Modelo impresso na Sethi3D S3

O aplicativo que funcionou bem no modo automático e compilando online foi o aplicativo Netfabb da Autodesk. A impressão 3D da Microsoft funciona de forma semelhante, mas consome mais tempo e não processa vários envios de arquivos STL. O programa de impressão Ultimaker Cura permite a instalação de um plugin Mesh Tools que resolve alguns problemas da peça gerada. O programa Slic3r corrige alguns problemas automaticamente. O programa Meshmixer analisa e corrige algumas peças automaticamente e permite ajustes mais avançados. O MeshLab funciona de maneira semelhante. O Blender também é uma ferramenta gratuita que permite ajustes mais complexos na peça.

4. CONCLUSÃO

Os sistemas remotamente pilotados e sua popularização fizeram que diferentes áreas de conhecimento aplicassem a tecnologia em suas pesquisas com diferentes finalidades. A aplicação das aeronaves de pequeno porte mostram um diferencial para as atividades, inclusive a técnica de reconstrução 3D por exemplo. O uso de imagens para modelagem de edifícios e estruturas históricas são extremamente relevantes e a junção com as aeronaves de pequeno porte são o diferencial na técnica que está bastante difundida. O estudo de caso da modelagem 3D do ”Palacete Babilônia”permitiu uma análise baseada na geração de modelos 3D do edifício histórico. O trabalho apresentou um estudo sobre os benefícios do uso da fotogrametria com pequenos drones e os desafios encontrados ao trabalhar na geração do modelo 3D.

O resultado final inclui a impressão 3D do edifício para posterior preservação. Além disso, o presente trabalho mostra diferentes aplicativos e softwares que são constantemente atualizados. Por fim, avalia como cada um deles entrega o modelo final. Os métodos aqui apresentados permitem arquivar modelos tridimensionais para preservar o patrimônio cultural com um orçamento pequeno e uma equipe reduzida. As atividades que envolveram o objeto de estudo viabilizam o desenvolvimento de tecnologias digitais que contribuem para melhoria das ações coletivas e para a preservação de informações a gerações futuras além de servir de base para estudos e conhecimentos de estruturas históricas por meio de modelos digitais, promovendo interação entre tecnologia e desenvolvimento urbano e humano de forma acessível que estruturam as cidades inteligentes. Os dados obtidos são importantes resultados na aplicação da técnica e a opção da realização de reconstrução com aeronaves de pequeno possibilita aplicações mais fáceis e análises com aprendizado de máquina e conjuntos com outros parâmetros em trabalhos futuros. A pesquisa contribui com os trabalhos da área e fornece um panorama dos principais aplicativos de planejamento e ferramentas de reconstrução para pesquisas.

Referências

[1] Hasegawa, J.K. Photogrammetric Restitution (Analytical and Digital): Theory of Guidelines - Introduction. 2004. 25p. Typed.

[2] Lima, E.M., Thomas, T.A.M. Severo, T.C. Digital Aerial Photogrammetric Mapping Using Medium Format Photographs. Porto Alegre, 2010. (Course Completion Work). Federal University of Rio Grande do Sul

[3] Reiss, M.L.L. Photogrammetry I. 2009. Lesson Notes

[4] Trucco; Verri, Introductory Techniques for 3-D Computer Vision. United Kingdom: Prentice Hall, 1998.

[5] "Epipolar geometry", 7 March 2021, at 21:46, Accessed on: 7 March 2021, at 21:46. [online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Epipolar_geometry

[6] Zarco-Tejada, P. J.; Diaz-Varela, R.; Angileri, V.; Loudjani, P. Tree height quantification using very high resolution imagery acquired from an unmanned aerial vehicle (UAV) and automatic 3D photo-reconstruction methods. European Journal of Agronomy, v. 55, p. 89–99, 2014.

[7] "Sensor size comparison", 3 March 2021, at 21:00, Accessed on: 3 March 2021, at 21:00. [online]. https://djzphoto.com/gear

[8] "Ground Sample Distance", 3 March 2021, at 20:35, Accessed on: 3 March 2021, at 20:35. [online]. Available: https://www.propelleraero.com/gsd-calculator/

[9] "Epipolar geometry" Accessed on: 7 March 2021, at 21:16. [online]. Available: https://www.researchgate.net/figure/Epipolar-geometry-and-triangulation-method_fig1_334066559

[10] Glasmeier, Amy and Christopherson, Susan. Thinking about smart cities. 2015. Cambridge Journal of Regions, Economy and Society. 8. 3-12. 10.1093/cjres/rsu034

[11] Vizioli, S. H. T. e Silva, G. R., "O modelo tridimensional e a Arquitetura: do físico ao digital", Risco, Rev. Pesqui. Arquit. Urban., vol. 19, p. 79-95, set. 2021.