

## Artigo Técnico

# Levantamento de dados de terreno mediante aeronave remotamente pilotada: comparação entre voos com trajetos simples e cruzados.

*Terrain data survey through remotely  
piloted aircraft: Comparison between  
simple and crossed flight routes.*

Felipe Augusto Zaganini Bento<sup>ab\*</sup>,  
Omar Yazbek Bitar<sup>cd</sup>

<sup>a</sup> Mestrado em Habitação:  
Planejamento e Tecnologia  
- Instituto de Pesquisas  
Tecnológicas do Estado de São  
Paulo – IPT - São Paulo/SP.

<sup>b</sup> CNFB – Guarulhos/SP.

<sup>c</sup> Docente do Mestrado  
Profissional em Habitação:  
Planejamento e Tecnologia  
- Instituto de Pesquisas  
Tecnológicas do Estado de São  
Paulo – IPT - São Paulo/SP.

<sup>d</sup> Seção de Planejamento  
Territorial, Recursos Hídricos,  
Saneamento e Florestas /  
Cidades, Infraestrutura e  
Meio Ambiente - Instituto  
de Pesquisas Tecnológicas  
do Estado de São Paulo  
- IPT - São Paulo/SP.

\*e-mail:

engenheiro\_bento@hotmail.com

Palavras-chave: aerolevanteamento;  
aeronave remotamente pilotada;  
voo simples; voo cruzado.

*Keywords: aerial survey; remotely piloted  
aircraft; simple flight; cross flight.*

## Resumo

Aeronaves remotamente pilotadas são crescentemente utilizadas em atividades de sensoriamento remoto, mostrando ampla variedade de aplicações. Em estudos de saneamento, podem-se variar os valores de diversos parâmetros de voo durante a execução de levantamentos de campo, de modo a melhorar sua qualidade e efetividade no conhecimento do terreno. Nesse contexto, o presente artigo sintetiza estudo desenvolvido com o objetivo de avaliar a influência da realização de voo com trajeto em geometria cruzada, tendo em vista o levantamento e processamento de dados referentes a uma determinada área. Foram executados quatro voos, cada qual com diferente geometria de trajeto e diferente sobreposição. Após o processamento das imagens foram gerados produtos que puderam ser comparados entre si quanto a qualidade das coordenadas, ortofotos e quantidade de pontos obtidos, além de tempo e espaço para a execução do levantamento e do processamento de dados. Os resultados sugerem que voos com trajeto cruzado apresentam melhor qualidade, enquanto os voos com geometria simples, embora apresentem resultado um pouco menos exato, podem ser também indicados, a depender do objetivo, devido à agilidade na execução e no processamento de imagens.

## Abstract

*Remotely piloted aircrafts are increasingly used in remote sensing operations, showing a wide variety of applications. In sanitation studies, several flight parameters can be varied during the execution of the surveys, in order to improve their quality and effectiveness in the knowledge of the terrain. In this context, this article synthesizes a study developed with the objective of evaluating the influence of performing a cross flight, owing to observe the survey and the data processing, referring to a certain area. Four flights were performed, each with different geometry and overlapping. After processing the images, products were generated, that could be compared with each other in terms of quality of coordinates, orthophotos, number of points obtained in the cloud, as well as the time and space needed for flight and processing execution. The results suggest that flights with a crossed path provides better quality, while flights with simple geometry, although presenting a slightly less accurate result, may be the most indicated, depending on the objective, due to the agility in the flight and in the processing of the images.*

## 1 Introdução

A utilização de Aeronave Remotamente Pilotada (ARP) em levantamentos de campo para aquisição de dados de terreno apresenta grande potencial de crescimento no Brasil, assim como tende a contribuir cada vez mais em estudos aplicados a distintas áreas de conhecimento, principalmente utilizando-se de variados tipos de sensores (TEIXEIRA *et al.*, 2016). Sua aplicação possibilita o aerolevanteamento de informações que podem ser utilizadas para a elaboração de projetos de engenharia, como em drenagem urbana para fins de saneamento básico, com elevada produtividade e alto nível de detalhes (MELLO, 2020), além de facilitar o processo de elaboração de orçamento (PICANÇO e PARENTE, 2019).

Nesse tipo de aerolevanteamento de terreno é possível utilizar valores diferentes para os parâmetros usuais de voo por meio de ARP, como velocidade, altura, sobreposição de imagens, ângulo das fotos e geometria do trajeto a ser percorrido num determinado estudo. Tais parâmetros vêm sendo abordados e discutidos pela comunidade científica (UDIN e AHMAD, 2014; DANDOIS *et al.*, 2015 e DOMINGO *et al.*, 2019), de modo a propiciar alta eficiência na obtenção de resultados, com prazos e custos reduzidos.

Entre as principais motivações para um uso diversificado desses parâmetros, salienta-se a variedade nas características da área a ser sobrevoada (variações na topografia, formato e área total), assim como nas características de ARPs e no desconhecimento sobre quais valores de parâmetros podem ser considerados ótimos na execução de cada tipo de voo, com base no resultado almejado.

Dessa forma, conduziu-se o presente trabalho com o objetivo de avaliar a influência da execução de voos com características distintas, em parâmetros como quantidade de fotos obtidas, tempo de voo, qualidade da ortofoto gerada, quantidade de pontos obtidos durante o processamento e tempo de processamento, considerando-se a variação da geometria do trajeto de voo em simples ou cruzada.

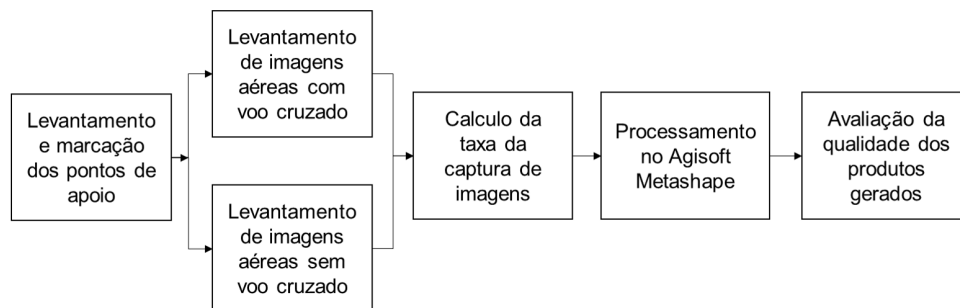
## 2 Materiais e Procedimentos metodológicos

Os equipamentos empregados para a execução desse trabalho em campo foram um GPS geodésico modelo HI-TARGET V30, uma estação total Horizon R400, um ARP DJI MAVIC 2 PRO equipado com câmera RGB de série (Hasselblad L1D-20c 28 mm, com sensor CMOS de 1" de 20MP e abertura de obturador ajustável) e um smartphone com sistema operacional iOS 14.4 utilizando o programa DroneDeploy versão 4.50.1.

Além disso, para o processamento das imagens, foi utilizado o programa Agisoft Metashape, disponibilizado em laboratório do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT) para a elaboração do trabalho.

O método de abordagem adotado na realização do trabalho é o experimental, baseando-se em levantamentos testados em campo e processamento de imagens em laboratório. Um fluxograma contendo as principais atividades e procedimentos encontra-se representado na **FIGURA 1**.

**Figura 1 – Fluxograma contendo as principais atividades e procedimentos desenvolvidos no trabalho.**



Fonte: Bento (2022)

Primeiramente, foram levantadas as coordenadas dos pontos de apoio no campo utilizando o GPS e a estação total. Tais coordenadas foram utilizadas como pontos de amarração para a obtenção de coordenadas no processamento das imagens. Logo após, foram executados sobrevoos da área de interesse, sendo dois com trajeto em geometria simples e dois em geometria cruzada, com diferentes sobreposições, de acordo com a **TABELA 1**.

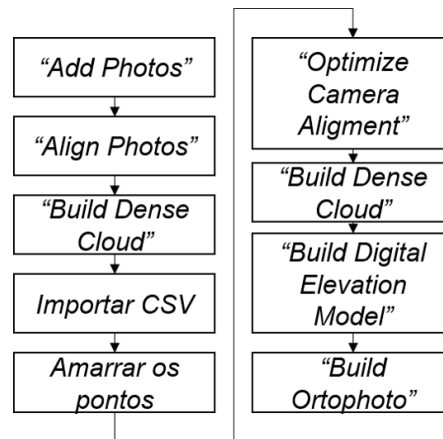
Tabela 1 – Parâmetros-chave e respectivos valores adotados nos voos executados.

Voo	Geometria do trajeto	Sobreposição Longitudinal	Sobreposição Lateral
Voo 1	Simples	80%	60%
Voo 2	Cruzado	80%	60%
Voo 3	Simples	80%	80%
Voo 4	Cruzado	80%	80%

Fonte: Bento (2022)

Na sequência, os tempos de sobrevoo e a quantidade de fotos foram organizados em tabelas e relacionados analiticamente. Então, foi executado o processamento de cada conjunto de imagens obtidas pelos diferentes voos. Os produtos gerados pelo processamento de imagens foram em seguida avaliados e comparados. A **FIGURA 2** apresenta um fluxograma das atividades específicas realizadas para a execução do processamento das imagens.

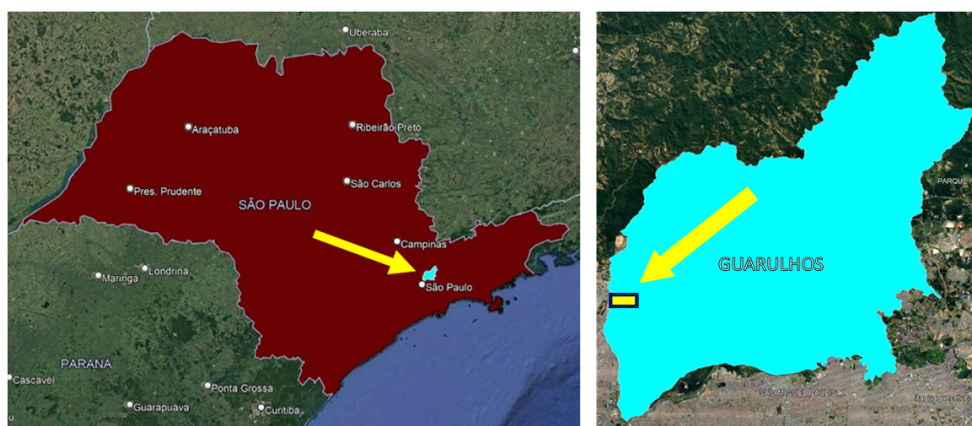
Figura 2 – Fluxograma com as principais atividades realizadas para o processamento de imagens por meio do Agisoft Metashape.



Fonte: Bento (2022)

A área de estudo selecionada para os trabalhos de levantamento de dados de campo se localiza na porção oeste do município de Guarulhos, Estado de São Paulo (FIGURA 3). A delimitação da área de estudo selecionada em campo encontra-se apresentada na FIGURA 4, compreendendo uma gleba com perspectiva de ocupação e de provável elaboração futura de projeto de engenharia para fins de instalação de sistema de drenagem urbana.

**Figura 3 – Localização do município de Guarulhos no contexto do Estado de São Paulo (ilustração à esquerda) e da área de estudo na porção oeste da cidade (ilustração à direita), indicadas por setas amarelas.**



Fonte: adaptado de Maxar Technologies (2021)

**Figura 4 – Delimitação da área de estudo para levantamento de dados de campo (polígono em cor magenta).**



Fonte: adaptado de Maxar Technologies (2021)

Trata-se de uma área próxima ao Rio Cabuçu de Cima, com viabilidade de acesso a locais que propiciariam a realização dos levantamentos pretendidos com segurança. A área foi escolhida também por apresentar uma baixa densidade de imóveis, bem como por seu relevo predominantemente plano e, ainda, por abranger um setor de fundo de vale onde há um curso d'água canalizado, conforme se pode notar na **FIGURA 5**.

**Figura 5 – Saída de água do afluente canalizado do Rio Cabuçu de Cima, indicada pela seta vermelha.**



Fonte: elaborado pelos autores

### 3 Resultados e discussão

Após o levantamento de campo utilizando o GPS e a estação total, foram obtidas as coordenadas de localização dos pontos de apoio e controle escolhidos. A **TABELA 2** apresenta as coordenadas de cinco pontos de apoio e um de controle, conforme definidos em campo.

**Tabela 2 – Coordenadas obtidas pelo levantamento de campo.**

Ponto	Latitude	Longitude	Altitude (m)
Apoio 1	23° 26' 23,4242"	46° 33' 53,5333"	738,87
Apoio 2	23° 26' 19,6082"	46° 33' 49,322"	742,46
Apoio 3	23° 26' 20,2061"	46° 33' 41,4723"	749,03
Apoio 4	23° 26' 18,8412"	46° 33' 43,9533"	745,81
Apoio 5	23° 26' 16,5183"	46° 33' 37,8403"	745,49
Controle 1	23° 26' 20,6493"	46° 33' 46,4655"	744,38

Fonte: Bento (2022)

A porcentagem de baterias utilizadas em cada sobrevoo foi considerada no levantamento. Entretanto, é importante salientar que critérios como as condições de vento, a distância entre o ponto de decolagem e o ponto da primeira captura e o deslocamento feito pela aeronave exclusivamente para a troca de baterias são critérios variáveis, com influência direta sobre a quantidade de bateria gasta. Portanto, embora haja influência dos diferentes tipos de voo na utilização da bateria, não é possível comparar esses critérios de forma exata, sendo mais indicado observar o tempo de voo para atender tal finalidade. A **TABELA 3** apresenta os gastos de bateria constatados durante os quatro voos executados, cujas geometrias estão ilustradas na **FIGURA 6**.

**Tabela 3 - Quantidade percentual de carga de bateria utilizada ou gasta em cada voo.**

Voo	Voo 1	Voo 2	Voo 3	Voo 4
Geometria do trajeto	Simples	Cruzado	Simples	Cruzado
Gasto de bateria	98%	139%	150%	255%

Fonte: elaborado pelos autores

Nota: os valores apresentados nesta tabela referem-se ao somatório das capacidades de bateria utilizadas. Mesmo no voo 1, único a não superar os 100%, foi necessário efetuar a troca da bateria, devido à incapacidade de efetuar voos com baixa carga.

**Figura 6 - Capturas de tela com a geometria do trajeto em cada um dos quatro dos voos executados (1 a 4).**



Fonte: adaptado de Bento (2022)

Após a coleta e organização das imagens obtidas por meio de ARP, compararam-se as variações no tempo de voo e na quantidade de imagens obtidas. Tais resultados foram divididos por voo e pela orientação da câmera durante a captura das imagens. Os dados apresentados como capturados com câmera na orientação nadir (ponto situado na vertical sob a perspectiva do observador), referem-se à parte do voo realizada com a câmera apontando imediatamente abaixo da ARP, enquanto a captura de 45° refere-se a um voo perimetral da área de interesse, com a câmera deslocada 45° em relação à orientação nadir. Na **TABELA 4**, onde os resultados dos quatro voos estão apresentados de forma resumida, pode-se observar as diferenças quanto aos dados obtidos, bem como distinguindo as características de cada voo executado.

**Tabela 4 – Resultados obtidos com os voos realizados.**

Dados	Voo 1	Voo 2	Voo 3	Voo 4
Data do levantamento das imagens	03/07/2021	05/07/2021	06/07/2021	16/07/2021
Horário do início da captura das imagens	11:27:54	11:19:48	11:02:26	11:05:44
Geometria do trajeto de voo	Simples	Cruzado	Simples	Cruzado
Sobreposição longitudinal	80%	80%	80%	80%
Sobreposição lateral	60%	60%	80%	80%
Velocidade programada de voo (m/s)	4	4	4	4
Tempo de captura das imagens em orientação Nadir (s)	816	1.640	1.540	3.000
Tempo de captura das imagens em orientação 45° (s)	340	342	502	550
Tempo total de captura das imagens (s)	1.156	1.982	2.042	3.550
Quantidade de imagens obtidas em orientação nadir	279	562	566	1.105
Quantidade de imagens obtidas em orientação 45°	103	103	204	226
Quantidade total de imagens úteis obtidas	382	665	770	1.331
Tempo entre imagens na orientação Nadir (s)	2,92	2,92	2,72	2,71
Tempo entre imagens na orientação 45° (s)	3,30	3,32	2,46	2,43
Tempo entre imagens (s)	3,03	2,98	2,65	2,67

Fonte: adaptado de Bento (2022)

Concluído o processamento das imagens, bem como obtidas as ortofotos, pode-se observar uma diferença de aproximadamente 10% no parâmetro *Ground Sample Resolution* (GSD), que avalia a qualidade das ortofotos obtidas e, ainda, uma diferença de cerca 20% na dimensão das imagens, avaliadas pela quantidade de pixels.

A avaliação desses parâmetros se relaciona com os aspectos de qualidade e nível de detalhamento a alcançar, que tendem a influenciar na identificação de zonas onde os sistemas de saneamento básico precisem de manutenção, conforme discutido em Mello (2020). A **TABELA 5** apresenta os resultados obtidos após o processamento das ortofotos.

**Tabela 5 - Comparação das ortofotos obtidas de acordo com os voos realizados.**

Voo	Características	GSD (cm/Pixel)	Largura (Pixel)	Altura (Pixel)	Quantidade de Pixel (Megapixel)
Voo 1	Simples 80/60	1,56	29.416	14.807	435
Voo 2	Cruzado 80/60	1,43	32.081	16.149	518
Voo 3	Simples 80/80	1,53	29.994	15.098	452
Voo 4	Cruzado 80/80	1,42	32.171	16.194	521

Fonte: Bento (2022)

Após se comparar as ortofotos obtidas por cada processamento, observa-se a diferença na qualidade do GSD, aspecto diretamente relacionado com uma melhor identificação dos tipos de revestimento do solo e suas áreas de abrangência, aspectos que tendem a ser relevantes na elaboração de orçamentos e prazos para execução de serviços de aerolevante de dados em campo referentes ao planejamento e instalação de sistemas de saneamento básico, corroborando-se o preconizado em Picanço e Parente (2019).

Durante o processamento para obtenção do modelo tridimensional, foi possível observar uma variação na quantidade de pontos apresentados na nuvem. A **TABELA 6** apresenta a quantidade de pontos obtidos após o processamento na *Sparse Cloud* e *Dense Cloud*.

**Tabela 6 – Quantidades de pontos obtidos durante o processamento de imagens no Agisoft Metashape.**

Voo	Características	Quantidade de Imagens Utilizadas	Quantidade de Pontos na Sparse Cloud	Quantidade de Pontos na Dense Cloud
Voo 1	Simple 80/60	382	260.390	178.380.535
Voo 2	Cruzado 80/60	665	395.218	210.017.244
Voo 3	Simple 80/80	770	279.199	198.934.195
Voo 4	Cruzado 80/80	1.331	527.669	241.910.271

Fonte: Bento (2022)

Conforme apontado por Dandois *et al.* (2015), uma maior sobreposição resulta numa maior quantidade de pontos de amarração. Entretanto, diante das sobreposições escolhidas no presente trabalho, nota-se que a execução de um voo cruzado se mostrou mais eficiente na geração de pontos de amarração no processamento de imagens.

Após o processamento de imagens, foram obtidas as coordenadas do ponto do controle resultantes de cada um dos voos, conforme se observa na TABELA 7.

**Tabela 7 – Coordenadas obtidas em cada voo para o ponto de controle após o processamento de imagens no Agisoft Metashape.**

Voo	Características	Latitude	Longitude	Altitude(m)
Voo 1	Simple 80/60	23° 26' 20,65"	46° 33' 46,47"	745,065
Voo 2	Cruzado 80/60	23° 26' 20,64"	46° 33' 46,47"	745,051
Voo 3	Simple 80/80	23° 26' 20,65"	46° 33' 46,47"	745,061
Voo 4	Cruzado 80/80	23° 26' 20,64"	46° 33' 46,47"	745,049

Fonte: Bento (2022)

O tempo de processamento de imagens para cada um dos diferentes levantamentos realizados em campo foi também considerado, estando apresentado na **TABELA 8**.

**Tabela 8 - Tempo de processamento no Agisoft Metashape.**

Voo	Voo 1	Voo 2	Voo 3	Voo 4
Tempo	2:00:49	3:27:55	4:53:24	7:38:38
Gasto de bateria	98%	139%	150%	255%

**Fonte: Bento (2022)**

O tempo de levantamento e o tempo de processamento estão diretamente relacionados com o custo. Esse impacto tende a ser ainda maior quando se considera a necessidade de levantamentos periódicos, com a finalidade de avaliar áreas frequentemente diagnosticadas com problemas relacionados ao estado de conservação do objeto mapeado, conforme destacado por Mello (2020).

Ao final, pode-se observar variações consideráveis em relação aos seguintes critérios:

- a. bateria utilizada durante o voo (até um gasto 260% maior);
- b. tempo dispendido para a captura das imagens (até 310% maior);
- c. quantidade de imagens obtidas (até 350% mais imagens);
- d. quantidade de segundos média entre as capturas de imagem (até 15% mais rápido);
- e. qualidade das ortofotos obtidas após o processamento (até 10% mais precisas);
- f. quantidade de pontos obtidos durante o processamento na nuvem de pontos (até 200% mais pontos);
- g. tempo de processamento (até 380% mais lento).

Entretanto, notou-se que houve pouca variação nas coordenadas obtidas após o processamento, mesmo com a quantidade de variações consideráveis nos critérios citados anteriormente.

Além disso, pode-se observar que a execução do voo cruzado obteve uma maior influência sobre a qualidade dos produtos quando comparado a apenas uma maior quantidade de imagens capturadas. Com isso, quando uma melhor qualidade do produto for desejada, pode-se recomendar a execução de levantamento de campo adotando-se o voo com trajeto em geometria cruzada.

Dessa forma, tendo em conta as discussões apresentadas em Udin e Ahmad (2014), Dandois *et al.* (2015) e Domingo *et al.* (2019), no sentido de que se deve sempre buscar melhores condições de velocidade, altura, sobreposição de imagens, ângulo das fotos e, ainda, geometria do trajeto a ser percorrido, de modo a aprimorar a eficiência dos levantamentos de campo por meio de ARP, com prazos e custos reduzidos, pode-se considerar que os voos executados no presente trabalho mostraram algumas variações entre si quanto aos resultados obtidos, havendo tanto aspectos favoráveis quanto desfavoráveis em relação a cada uma das geometrias avaliadas.

## 4 Conclusões e Recomendações

Todos os voos realizados geraram resultados que podem ser considerados satisfatórios. No entanto, considera-se que a escolha para a execução de um voo com base em determinados critérios deve partir do objetivo pretendido quanto ao produto a ser gerado, o que pode conduzir a distintas alternativas quanto à geometria do trajeto.

Observa-se que a quantidade de fotos adquiridas não se mostra diretamente relacionada à obtenção de uma melhor qualidade dos produtos finais. Nesse sentido, tende a ser mais vantajosa a execução de voo com trajeto em geometria cruzada, para a obtenção dos melhores resultados, ao invés de se aumentar a quantidade de fotos por meio de sobreposição.

Em caso de obtenção de coordenadas ou na geração de ortofotos de boa qualidade, poderia ser recomendado um voo com geometria de trajeto simples, seguindo-se os critérios adotados neste trabalho. Nesse caso, o tempo de levantamento de dados em campo, a quantidade de imagens obtida e o tempo de processamento seriam aprimorados, proporcionando também um resultado de boa qualidade.

Por outro lado, caso pretenda-se elaborar um modelo tridimensional com o máximo de fidelidade possível ou caso seja necessário gerar uma ortofoto com o menor GSD possível (que corresponderia a um produto com melhor qualidade), pode-se aconselhar a execução de um voo com trajeto em geometria cruzada.

Por fim, pode-se acrescentar, ainda, a recomendação de se utilizar levantamentos de campo com ARPs também devido à capacidade destes em sobrevoar locais de difícil acesso, além de propiciar a geração de modelos de produtos cartográficos digitais, viabilizando a elaboração de projetos computadorizados por meio de ferramentas como *Building Information Modeling* (BIM) e outras modelagens tridimensionais.

## 5 Referências

BENTO, F. A. Z. **Aquisição de dados planialtimétricos por meio de Aeronave Remotamente Pilotada**: análise comparativa de resultados em voos simples e cruzados com diferentes sobreposições. 2022. (107 p.) Dissertação (mestrado) – Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo – IPT.

DANDOIS, J. P.; OLANO, M.; ELLIS, E. C. Optimal altitude, overlap, and weather conditions for computer vision UAV estimates of forest structure. **Remote Sensing**, v. 7, n. 10, p. 13895–13920, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/rs71013895>. Acesso em: 20 mai. 2023.

DOMINGO, D.; ØRKA, H. O.; NÆSSET, E.; KACHAMBA, D.; GOBAKKEN, T. Effects of UAV image resolution, camera type, and image overlap on accuracy of biomass predictions in a tropical woodland. **Remote Sensing**, v. 11, n. 8, p. 948, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/rs11080948>. Acesso em: 21 mai. 2023.

MAXAR TECHNOLOGIES. Imagem de satélite. 2022. **Google Earth Website**.

MELLO, C. C. S. **Aerofotogrametria com vant: aplicações no monitoramento operacional de aterros sanitários**. 2020. 134 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2020. Disponível em: <https://abesnacional.com.br/XP/XP-EasyArtigos/Site/Uploads/Evento41/TrabalhosCompletoPDF/I-006.pdf>. Acesso em: 13 jun. 2022.

PICANÇO, A. P.; PARENTE, D. C. **Utilização de veículo aéreo não tripulado no levantamento de serviços para orçamentação de redes coletoras de esgoto e de abastecimento de água**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 30., 2019, Natal. Anais [...] . Natal: Abes, 2019. p. 1-6. Disponível em: <https://abesnacional.com.br/XP/XP-EasyArtigos/Site/Uploads/Evento45/TrabalhosCompletoPDF/I-064.pdf>. Acesso em: 13 jun. 2022.

TEIXEIRA, B. E.; CHIACCHIO, S.; OLIVEIRA, M. E.; TECH, A. R. Um estudo sobre o desenvolvimento e utilização de um quadricóptero para aplicações referentes ao clima de uma área cultivada. In: SIMPÓSIO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DA ENGENHARIA AMBIENTAL, 15., 2016, São Carlos. **Anais eletrônicos do XV Simpósio do Programa de Pós-Graduação em Ciências da Engenharia**. São Carlos: Eesc Usp, 2016. p. 1-8. Disponível em: <http://soac.eesc.usp.br/index.php/PPGSEA/PPGSEA/paper/viewFile/270/203>. Acesso em: 22 mar. 2021.

UDIN, W. S.; AHMAD, A. Assessment of photogrammetric mapping accuracy based on variation flying altitude using unmanned aerial vehicle. In: **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, v. 18, p. 012027, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/18/1/012027>. Acesso em: 21 mai. 2023.

10.29327/2202814.7.25-2

