

Uso de Vant para Análise Geotécnica

Mabile Rodrigues Bombassaro

Engenheira Civil, Faculdade Arnaldo, Cascavel-PR, Brasil, mabilerb@gmail.com

Marcio Fernandes Leão

Geólogo-Geotécnico, Tractebel/UFV, Belo Horizonte, Brasil, marciotriton@hotmail.com

RESUMO: Os Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs) emergem como uma alternativa promissora, tanto no âmbito acadêmico quanto profissional, impulsionando avanços significativos. A pesquisa destacou a importância dos VANTs em análises geotécnicas preliminares, enfatizando a agilidade, precisão e redução de custos e riscos que esta tecnologia oferece para a construção civil. Este estudo focou na aplicação de VANTs de baixo custo para investigar a estabilidade de taludes, demonstrando que a utilização de imagens verticais e oblíquas captadas por esses dispositivos facilita procedimentos mais eficientes e precisos em comparação com métodos tradicionais. A pesquisa descreveu o processo de captura fotográfica e a criação de um modelo tridimensional via fotogrametria digital, utilizando o software Agisoft Metashape para processar as imagens aéreas. Os resultados alcançados, incluindo o Modelo Digital de Elevação (MDE) obtido, provaram ser satisfatórios para análises detalhadas, reforçando a viabilidade de VANTs como ferramenta de coleta de dados topográficos para análise de estabilidade de taludes. Essa abordagem não apenas oferece um método de análise mais abrangente e preciso, mas também destaca o potencial dos VANTs em fornecer perspectivas únicas e melhorar a qualidade dos projetos de engenharia, ao mesmo tempo que reduz tempo e custos associados ao trabalho de campo.

PALAVRAS-CHAVE: VANT; Levantamentos fotogramétricos; Fotogrametria digital; Modelo tridimensional; Ortomosaico.

ABSTRACT: The Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) emerge as a promising alternative, advancing significant progress both academically and professionally. The research highlighted the importance of UAVs in preliminary geotechnical analyses, emphasizing the agility, precision, and cost and risk reduction this technology brings to the construction industry. This study focused on the application of low-cost UAVs to investigate slope stability, showing that the use of vertical and oblique images captured by these devices facilitates more efficient and accurate procedures compared to traditional methods. The research described the process of photographic capture and the creation of a three-dimensional model through digital photogrammetry, using Agisoft Metashape software to process the aerial images. The results achieved, including the Digital Elevation Model obtained, were deemed satisfactory for detailed analyses, reinforcing the viability of UAVs as a tool for collecting topographic data for slope stability analysis. This approach not only offers a more comprehensive and accurate analysis method but also highlights the potential of UAVs to provide unique perspectives and improve the quality of engineering projects while reducing the time and costs associated with fieldwork.

KEYWORDS: UAVs; Photogrammetric surveys; Digital photogrammetry; Three-dimensional model; Orthomosaic.

1 INTRODUÇÃO

O avanço tecnológico impulsionou a Geotecnia, especialmente na gestão de riscos de barragens inativas (SÁNCHEZ, 2019). Os Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs) emergem como ferramentas poderosas, proporcionando imagens detalhadas, identificação de instabilidades e coleta de dados do solo. Ágeis e seguros, permitem levantamentos rápidos e eficientes, cobrindo vastas áreas (SITHOLE & VOSSSELMAN, 2005). Equipados com diversos sensores, contribuem para análises geotécnicas precisas. A fotogrametria é essencial, garantindo sobreposição para resultados de qualidade. Essa abordagem inovadora promete melhorar a segurança e a qualidade dos projetos, representando um avanço significativo na Geotecnia (BONNEVAL, 1972; KRAUS, 1993; ZUCATELLI *et al.*, 2017).

Os VANTs são amplamente reconhecidos na monitorização de taludes, destacando-se pela precisão,

rapidez e acessibilidade (DJI, 2023). A combinação desses veículos com a fotogrametria digital possibilita a coleta rápida e precisa de dados, auxiliando estudos geotécnicos com agilidade, suporte a decisões rápidas e acesso a áreas remotas (PIX4D, 2019). No planejamento de voo, a altura é calculada para garantir sobreposição entre imagens, com cobertura longitudinal acima de 80% e transversal acima de 60%. A distância focal da câmera influencia a perspectiva e ampliação da imagem, enquanto a resolução e a Ground Sample Distance (GSD) são cruciais na fotogrametria, impactando na qualidade da imagem e na precisão dos dados (WINGTRA, 2023). A aplicação de novas tecnologias, como os VANT, tem se mostrado valiosa para análises geotécnicas preliminares, permitindo levantamentos topográficos e identificação de áreas de instabilidade de forma ágil e precisa. Além disso, o uso de VANTs reduz custos e riscos para os profissionais, contribuindo para a melhoria da segurança e da qualidade dos projetos de engenharia no setor de construção civil (TRINDADE, 2022).

O presente artigo teve como objetivo descrever uma abordagem técnica para a utilização de dispositivos VANT como uma ferramenta essencial na investigação da estabilidade de taludes. A análise de informações espaciais e temporais provenientes de imagens verticais e oblíquas permitiu obter procedimentos mais eficientes, rápidos e precisos em comparação com os métodos convencionais.

2 METODOLOGIA

2.1 Metodologias para o plano de voo

O processo fotogramétrico, conforme descrito por Rosado (2014), abrange diversas etapas, desde a captura fotográfica até a obtenção das coordenadas tridimensionais, com erros e precisão acumulados ao longo do trabalho de campo e de escritório (TEIXEIRA *et al.*, 2006). O planejamento de voo é fundamental, considerando área de cobertura, altura e rota do VANT, com o software Drone Harmony sendo utilizado para criar e ajustar o plano, observando restrições e parâmetros específicos. As condições climáticas e geográficas devem ser consideradas durante o voo, assim como a conformidade com regulamentações locais e garantia de segurança. O plano de voo não só assegura a eficiência na coleta de dados, mas também fornece um registro dos parâmetros utilizados para rastreabilidade dos dados. A realização de voos requer conformidade com leis locais e priorização da segurança. Em resumo, o planejamento de voo é crucial para garantir a qualidade e precisão dos resultados fotogramétricos, facilitado por ferramentas como o Drone Harmony (BEGLEY, 2023).

2.2 Execução do plano de voo

Para esse estudo, o voo programado em plano (Figura 1) teve área de cobertura aproximada de 125.571,00 m² de levantamento, distância de voo 6.712 m percorridos.

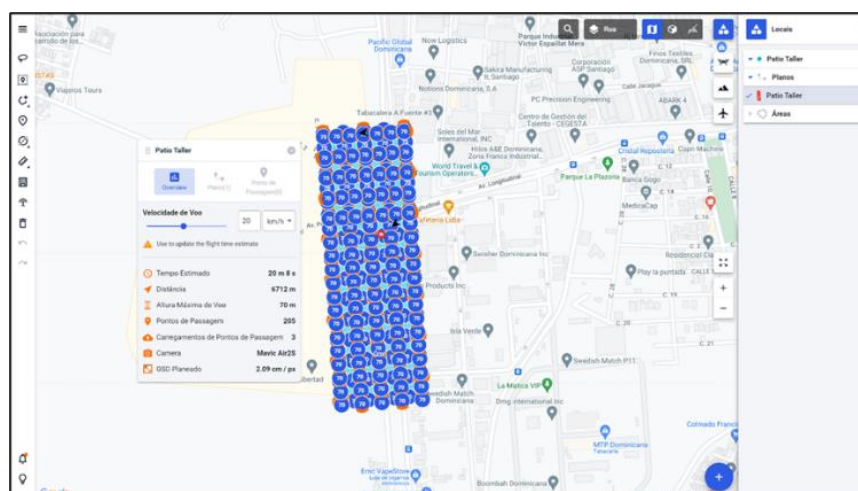


Figura 1. Imagem extraída do Plano de Voo no Drone Harmony.

Foi realizada 01 única missão de voo, para cobrir toda a área em estudo, altura de voo 70 m, com um total de 205 fotografias aéreas tiradas pelo aparelho e o tempo em campo foi de aproximadamente 1 hora de atividade com 26 minutos de voo, GSD de 2,09 cm/px. Se utilizou um smartphone com sistema operacional Android (SONY, 2023).

2.3 Orientação absoluta dos pontos

Pontos de apoio são referências (Figura 2) fixas em imagens fotogramétricas, fundamentais para georreferenciar as imagens e garantir precisão. Distribuídos uniformemente, devem ser facilmente identificáveis, estáveis no terreno e marcados de forma visível, geralmente com placas metálicas ou tinta. Rosado (2014) destaca sua importância na correção de erros e recomendações para marcação e localização, incluindo a consideração de obstáculos para a precisão do GPS.



Figura 2. Imagem extraída do Plano de Voo no Drone Harmony.

2.4 Processamento e alinhamentos dos dados

Para processar as imagens (Figura 3), foi escolhida a ferramenta METASHAPE Professional, que cria modelos tridimensionais a partir de fotos. O software alinhou automaticamente as imagens, identificando pontos de correspondência comuns e calculando suas posições. As coordenadas foram convertidas para o sistema UTM-WGS 1984, Zona 19 Norte, em cerca de 10 minutos.

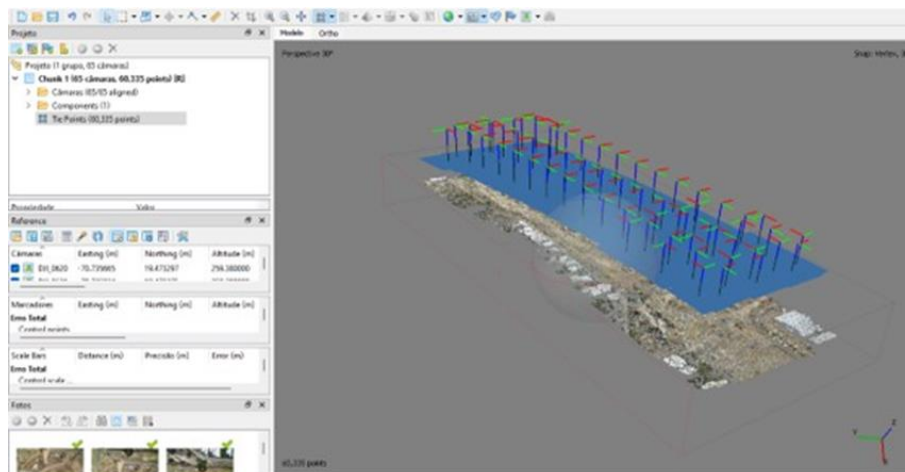


Figura 3. Fotos alinhadas e sobrepostas.

2.4.1 Importação do dados e pontos de controle

As coordenadas dos pontos de controle foram lançadas em uma planilha, convertidas em formato CSV e importadas para o Metashape, são apresentadas na Tabela 1. As coordenadas foram convertidas para o sistema UTM-WGS 1984, Zona 19 Norte, conforme Figura 4.

Tabela 1. Coordenadas dos pontos de controle.

Identificação	E	N	Elevação (m)
SCL03-07C7	317.770,26	2.154.493,40	192.98
SCL03-11C3	317.776,90	2.154.356,15	194.28
SCL03-11C4	317.778,36	2.154.326,18	193.58
SCL03-12C2	317.780,87	2.154.274,24	192.37
SCL03-12C4	317.783,77	2.154.214,31	190.97

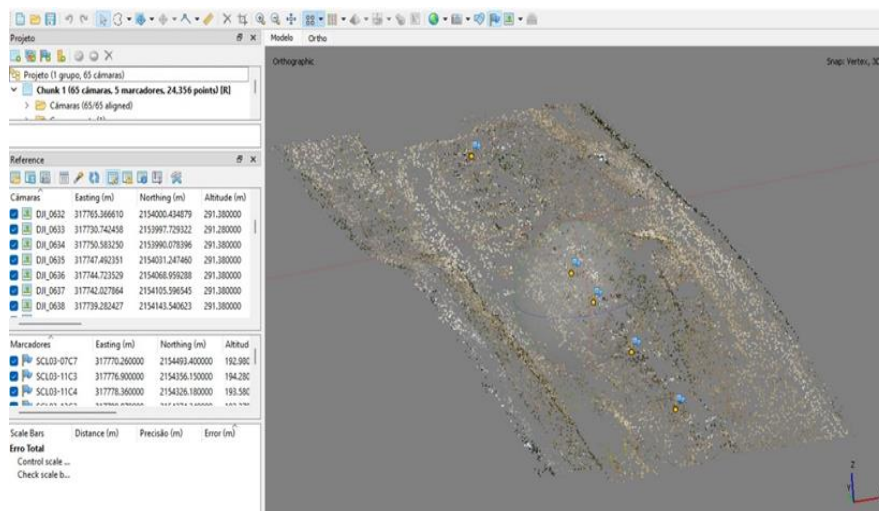


Figura 4. Pontos de controle lançados.

2.4.2 Importação do dados e pontos de controle

Optou-se por gerar inicialmente uma nuvem densa de pontos de baixa qualidade para agilizar o processo. Posteriormente, ajustou-se os pontos de controle à nuvem densa, usando um GPS RTK para georreferenciar. Esse ajuste é crucial para a precisão e qualidade do modelo final, permitindo a integração de informações externas. Após a geração da nuvem densa, os pontos de controle são visualizados sobre a imagem alinhada, facilitando sua sobreposição com as fotos correspondentes, contribuindo para a confiabilidade das reconstruções tridimensionais, conforme Figura 5.

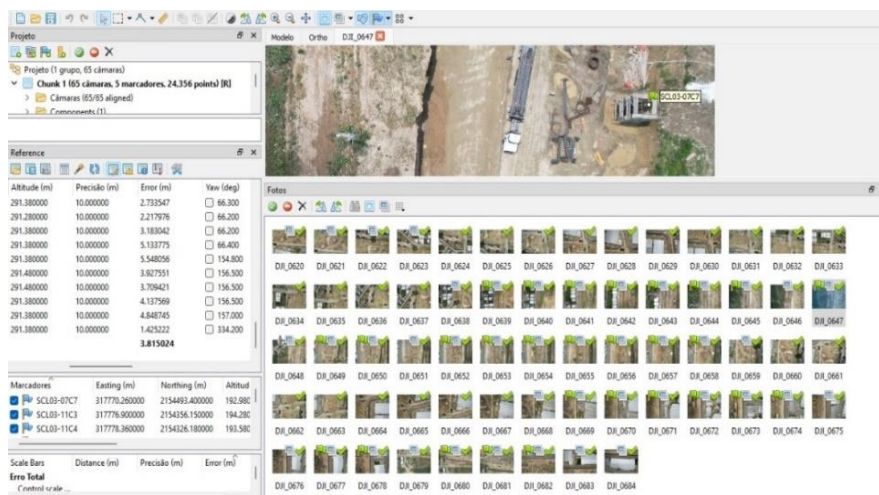


Figura 5. Ajuste do ponto de controle na nuvem densa.

2.4.3 Gerando a segunda nuvem de pontos

A Figura 6 mostra a geração da nuvem densa de alta qualidade demanda 2,5 horas; essa etapa precede a geração do modelo tridimensional texturizado.

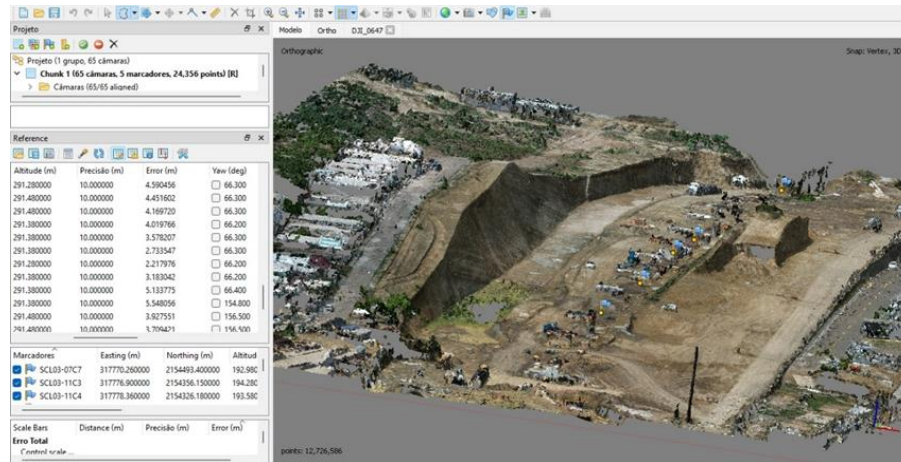


Figura 6. Resultado da nuvem densa de alta qualidade.

2.3.4 Gerando a segunda nuvem de pontos

A classificação da nuvem é crucial para isolar elementos indesejados em modelos tridimensionais. A ferramenta Metashape utiliza parâmetros como ângulo máximo, distância máxima e tamanho para classificar objetos. Algoritmos de filtragem, baseados em um modelo geométrico local, distinguem superfícies do terreno de objetos como construções e vegetação. Para serem classificados como parte do terreno, os pontos devem atender aos três parâmetros de filtragem: ângulo máximo, distância máxima e tamanho, conforme Figura 7.

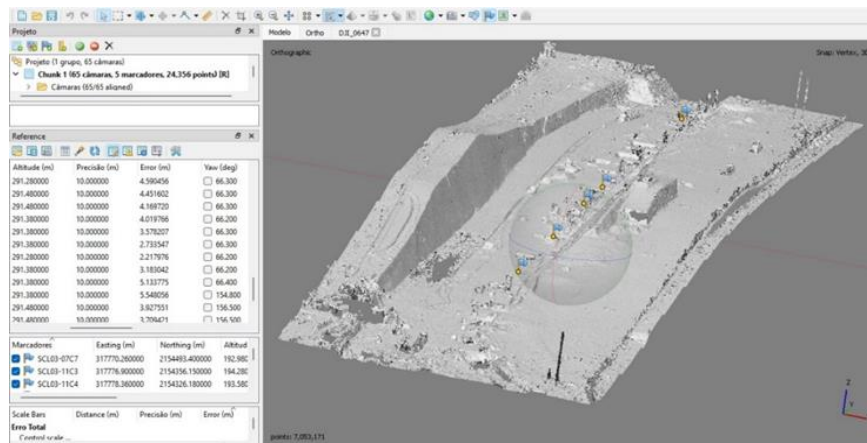


Figura 7. Nuvem de pontos ainda não classificada.

2.3.5 Modelo tridimensional

Após filtragem e refinamento da nuvem de pontos, o software texturiza as superfícies tridimensionais para realismo visual; o Metashape Professional suporta medições, extração e análise de dados (Figura 8).

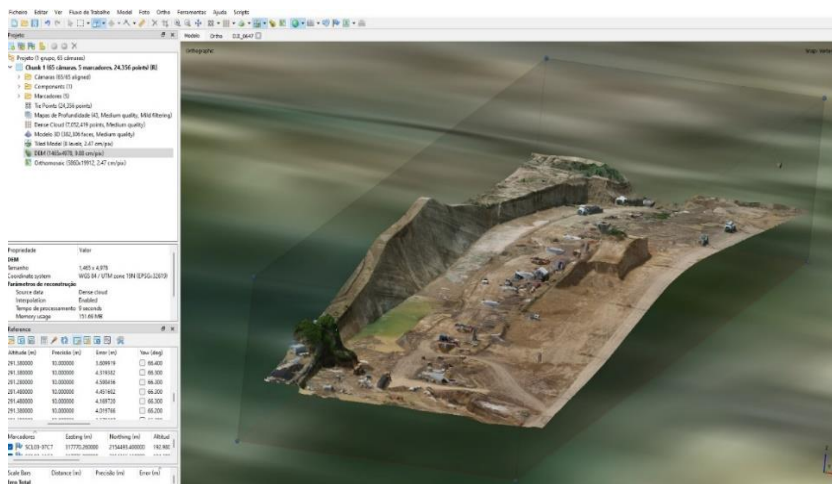


Figura 8. Modelo texturizado.

O processamento fotogramétrico produziu um MDE, útil para análises geológicas, fluxo de água e estabilidade, oferecendo detalhes precisos da topografia da região.

3 RESULTADOS

Através da utilização do processamento fotogramétrico, foi possível obter um MDE, conhecido também como Modelo Digital do Terreno (MDT), que ofereceu uma representação altamente detalhada e precisa da topografia da região na superfície. O MDE pode ser empregado em diversas atividades, como a análise de configuração geológica, fluxo de acumulação de água, sendo relevante como dado geométricos e de entrada para análises de estabilidade.

3.1 Configuração geológica de taludes avaliados por Modelo 3D

A análise do modelo tridimensional renderizado com a textura fotogramétrica possibilitou visualizar a configuração geológica do talude. É possível identificar dois (2) extratos de materiais de origem sedimentar claramente diferenciados, onde nos primeiros metros do primeiro extrato são caracterizados por argilas siltosas de coloração amarela em estado compacto. Subjacente à primeira camada o solo é representado por xistos amarelo-acastanhados com veios arenosos de 10 - 12 centímetros e equidistantes entre 1,50 - 2,0 m, conforme Figura 9.



Figura 9. Modelo 3D texturizado.

De acordo com a ficha geológica 6074 - II do Serviço Geológico Nacional (SGN) a profundidade do Folhelho desta unidade é da ordem dos 300 m, estimativa baseada em dados regional. Os materiais que compõem o talude são de idade Mioceno e pertencem à formação Gurabo que se interdigitam com o xisto da formação Mao.

3.1.1 Dados Geométricos

Ainda para a análise de estabilidades, com o modelo tridimensional gerado, foi possível obter seções que correspondem a trechos representativos do cenário atual. Esta informação permite a interpretação das seções representadas como as que correspondem aos modelos geológicos a utilizar na análise de estabilidade.

Com os dados obtidos pela fotogrametria, pode-se calcular ângulos de inclinação, perfis de terreno, declividades e demais características geométricas que são essenciais para avaliar a estabilidade da área. Além disso, a fotogrametria permite o monitoramento contínuo das mudanças topográficas ao longo do tempo, identificando movimentações do terreno e possibilitando a tomada de ações preventivas para evitar problemas de instabilidade.

3.1.2 Fluxo de acumulação

Os resultados obtidos a partir das fotografias adquiridas no levantamento planialtimétrico usando técnicas de aerofotogrametria, juntamente com o MDE obtido no ortomosaico com resolução de 2,09 cm/pixel, foram considerados satisfatórios para a geração das curvas de nível necessárias na análise dos modelos temporais.

A técnica de Fluxo de Acumulação de Água tem sido amplamente utilizada na análise geotécnica para avaliar o comportamento hidrológico de uma área e fornecer informações relevantes para o planejamento e o gerenciamento de recursos hídricos. Essa técnica utiliza modelagem hidrológica computacional para simular o movimento da água em uma bacia hidrográfica, levando em consideração parâmetros topográficos, hidrológicos e ambientais.

Uma das principais vantagens do uso da técnica de Fluxo de Acumulação de Água é a capacidade de identificar áreas de escoamento concentrado, direcionando a água para áreas específicas e potencialmente problemáticas. Isso é especialmente relevante em análises geotécnicas, pois ajuda a identificar possíveis locais de erosão, deslizamentos de terra ou acumulação de água que podem comprometer a estabilidade do terreno.

Neste caso, a fotogrametria é uma técnica que pode ser utilizada em conjunto com a técnica de Fluxo de Acumulação de Água para melhorar as análises geotécnicas.

4 CONCLUSÃO

A tecnologia, aqui discutida, apresenta-se como uma alternativa promissora, impulsionando o avanço na área acadêmica e profissional. A análise de informações espaciais e temporais provenientes de imagens verticais e oblíquas permite obter procedimentos mais eficientes, rápidos e precisos em comparação com os métodos convencionais. Esta pesquisa demonstrou-se que tanto a utilização de aeronaves quanto o processamento de dados são acessíveis e fáceis de realizar usando a técnica estabelecida neste estudo. As fotografias aéreas, antes e depois do processamento, são capazes de fornecer informações qualitativas sobre as características e feições da superfície da área em estudo, permitindo uma cobertura abrangente de toda a área de influência com apenas uma saída a campo. Isso facilita e oferece uma perspectiva diferenciada ao Engenheiro que utiliza essa técnica para analisar e estudar a região instável.

Pelo uso do VANT é possível reduzir o tempo necessário para o trabalho de campo e obter resultados de alta qualidade a um custo acessível. Além disso, eles são mais precisos e detalhados em comparação com os métodos convencionais, proporcionando todas as vantagens mencionadas ao longo desta pesquisa. proposta para esse tipo de estudo é fácil de pilotar, transportar e possui uma ampla variedade de modelos disponíveis no mercado, fabricados por diversas empresas. Isso facilita a aquisição do equipamento aéreo necessário.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Begley, T. (2023) ESC Electronic Speed Controllers: An introduction; <https://www.rcgeeks.co.uk/blogs/news/what-is-an-esc-electronic-speed-controller>, Acessado em jun/2023.
- Bonneval, H. (1972) *Photogrammétrie générale*. 1ª ed. France: Eyrolles.
- DJI. Inside a VANT - ESC, 2016. Disponível em: <https://www.dji.com/newsroom/news/inside-a-VANT-esc/>. Acesso em: jun. 2023.
- Kraus, K. (1993). *Photogrammetry – Fundamentals and Standard Processes*. Vol I. Dümmler, Bonn, Alemanha.
- Pix4D (2019) What is accuracy in an aerial mapping project?; Disponível em: <https://www.pix4d.com/blog/accuracy-aerial-mapping>; Acesso em: jun. 2023
- Rosado, E. Q. (2014) *Introducción a la Fotogrametría y Cartografía aplicadas a la Ingeniería Civil*; Cáceres (España), Universidad de Extremadura para esta 1ª edición.
- Sánchez, L. E. (2019) *É Urgente Gerenciar Melhor Riscos das Barragens de Rejeitos Inativas*. POLITÉCNICA USP.
- Sithole, G.; Vosselman, G. (2005) Filtering of airborne laser scanner data based on segmented point clouds. In: *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, v. 36, n. part 3, p.
- SONY (2023) Distância Focal. Disponível em: <https://www.sony.es/electronics/support/articles/00267921>. Acesso em: jun. 2023.
- Teixeira, A. A.; Silva, A. M.; Pires, A. C. B. (2006) Fotointerpretação Geológica de Imagens Multifontes e sua Aplicação no Greenstone Belt Rio das Velhas, Quadrilátero Ferrífero, MG, *Revista Brasileira de Geociências*, 36 (1 - Suplemento): 93-103.
- Trindade, E. G. B. (2022). Disponível em: *GEOSENSE Baterias de VANTs (LiPo): Tudo o Que Você Precisa Saber*; <https://geosense.net.br/>; Acesso em: jun. 2023
- Wingtra A. G. (2023). Puntos de apoyo fotogramétricos: ¿Cuántos necesitas (y cuándo son suficientes los puntos de control)? Disponível em: <https://wingtra.com>. Acesso em: jun. 2023
- Zucatelli, G. F.; Philips, J. W.; Watashi, D. B. (2017). *Fotogrametria Aplicada ao Monitoramento de Taludes em Loteamentos Urbanos – Estudo de Caso*. In: *VII Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas*. Florianópolis.