CENTRO UNIVERSITÁRIO UNIFTC
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
UNIDADE DE ENSINO: JEQUIÉ

UTILIZAÇÃO DE VEÍCULOS AÉREOS NÃO TRIPULADOS (VANTS) EM OBRAS DE INFRAESTRUTURA E MINERAÇÃO

Dvid Silva dos Santos[1]
Ivana Lago Pires [2]

RESUMO

Junto com o avanço dos veículos aéreos não tripulados (VANTs), o aprimoramento das câmeras de alta resolução e o desenvolvimento de técnicas de mapeamento baseadas em visão, as imagens aéreas não tripuladas tornaram-se uma questão de notável interesse entre pesquisadores e indústrias, inclusive da construção civil e da mineração. Essas imagens têm o potencial de fornecer dados com resolução espacial e temporal sem precedentes para imagens tridimensionais. Neste artigo, apresentou-se uma revisão bibliográfica teórica acerca da implementação e avaliação de sistemas fotogramétricos baseados em VANTs com aplicações em obras de infraestrutura e mineração.

Palavras-chave: VANTs. Drones. Fotogrametria. Mineração. Infraestrutura.

ABSTRACT

Along with the advancement of unmanned aerial vehicles (UAVs), improvement of high resolution cameras and development of vision-based mapping techniques, unmanned aerial imagery has become a matter of remarkable interest among researchers and industries, including civil construction. and mining. These images have the potential to provide data with unprecedented spatial and temporal resolution for three-dimensional images. In this article, a theoretical literature review was presented about the implementation and evaluation of photogrammetric systems based on UAVs with applications in infrastructure and mining works.

Key words: UAVs. Drones. Photogrammetry. Mining. Infrastructure.

---

[1] Acadêmico(a) do curso de Engenharia Civil Faculdade UNIFTC. E-mail: dvid.santos@hotmail.com
[2] Orientador(a). Docente do curso de Engenharia Civil da Faculdade UNIFTC.

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o uso de veículos aéreos não tripulados (VANTs) para levantamentos aéreos em diversos campos, como arqueologia, geologia, monitoramento ambiental, engenharia civil, aplicações militares e mapeamento topográfico, aumentou significativamente. O Sistema de Aeronaves não Tripuladas juntamente com a Agência Nacional de Aviação Civil SISANT/ANAC registraram até o mês de março de 2022 mais de 95.753 aeronaves em seu cadastro. (OLIVEIRA, 2022). Essas áreas operacionais também incluem o atendimento às necessidades de empresas e profissionais em mapeamento de pequenas áreas, estudos de projetos e acompanhamento de obras de engenharia, além de estudos ambientais e cálculos de volumes.

Os sistemas de pequenas aeronaves não tripuladas têm grande potencial para superar ou aliviar alguns desses desafios. Devido à sua alta capacidade de manobra, pequenos drones podem ser usados para adquirir remotamente imagens, fotos de alta resolução e vídeo de estruturas de vários ângulos de visão. Os VANTs podem coletar dados em locais de uma estrutura de difícil acesso físico, permitindo que um inspetor visualize remotamente enquanto mantém os dois pés firmemente no chão. Durante os voos, muitos VANTs transmitem vídeo ao vivo de uma câmera para um monitor, permitindo que o inspetor analise virtualmente as imagens adquiridas em tempo real durante o voo. Além disso, VANTs podem voar com frequência a baixo custo para monitorar as mudanças em uma estrutura ao longo do tempo.

Alguns desafios significativos que os engenheiros civis enfrentam incluem melhorar o monitoramento das estruturas, aumentar a produtividade da construção e manter a segurança do local. Com uma série de responsabilidades primordiais em cada projeto, pode ser difícil acompanhar essas prioridades e dedicar tempo suficiente a cada uma delas. Ao usar um drone equipado, os engenheiros civis podem reduzir significativamente o tempo gasto em cada tarefa e, por sua vez, dedicar seu tempo a questões mais pertinentes, economizando dinheiro e capital humano a longo prazo. Em um mundo onde a otimização do orçamento é de extrema importância, um drone pode ser um divisor de águas para sua organização.

Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo principal apresentar o uso de VANTs em obras de infraestrutura e no setor de mineração. Para alcançar tal

objetivo, serão apresentados, primeiramente, os principais conceitos que norteiam essa tecnologia, bem como aspectos técnicos e a legislação que regulamenta o seu uso. Em seguida, serão apresentadas algumas utilizações de VANTs em obras de infraestrutura, como mapeamento topográfico e volumétrico em obras de terraplenagem, acompanhamento topográfico em aterro sanitário e inspeção de pontes utilizando drones. Por fim, serão abordados alguns usos dos VANTs na mineração, como o cálculo volumétrico em áreas de mineração, a geração de nuvem de pontos para modelagem de mina a céu aberto e o cálculo do volume de rejeitos através de modelagem digital.

2. METODOLOGIA

A pesquisa realizada se trata de uma revisão de literatura, onde foram pesquisados livros, dissertações e artigos científicos selecionados através de busca nos repositórios virtuais das principais universidades do Brasil e do mundo, como Scielo e Google Scholar e autores como Siebert e Teizer, Brunch et al. e Zink e Lovelace. Sendo o período dos artigos pesquisados serão os trabalhos publicados nos últimos 10 anos, buscados pelas seguintes palavras chaves: VANTs, drones, fotogrametria, mineração infraestrutura.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Drones podem ser definidos como veículos aéreos independentes do operador humano a bordo para o voo, seja autônomo ou remotamente operado. O tamanho dos drones varia e a distância de voo também. Os drones aplicados em infraestruturas civis são geralmente pequenos, mais fáceis de operar e flexíveis para executar missões relacionadas à infraestrutura. Os drones comerciais são capazes de voar até 55 minutos sem carregar. Se um único voo não for suficiente em casos de aplicação de infraestrutura civil ou mineração, várias vezes podem ser realizados (DUQUE et al, 2018).

Os VANTs são atualmente classificados como VANTs de asa fixa e VANTs de asa rotativa. Os VANTs de asa fixa possuem maior cobertura de alcance de voo, que são úteis no caso de infraestrutura de grande escala, como ferrovias e rodovias. Por outro lado, os VANTs de asa rotativa permitem decolagem e pouso mais fáceis, bem

como carga útil mais pesada. Além disso, os VANTs de asa rotativa são capazes de pairar, o que é importante em aplicações de infraestrutura civil, principalmente para tirar fotos ou vídeos de alta resolução (MAIERHOFER et al, 2006).

Comparado às plataformas aéreas convencionais, a plataforma de drone tem muitas vantagens. Fotos ou vídeos de altíssima resolução podem ser obtidos, pois as plataformas de drones permitem operações em baixa altitude e são ágeis e flexíveis para pegar os objetos. É menos demorado inspecionar infraestruturas ou inspecionar um local de trabalho em comparação com trabalhar manualmente na mesma missão, especialmente para partes de difícil acesso. As vantagens técnicas discutidas podem resultar em um custo relativamente menor. Outra vantagem é que a operação de drones não necessita de pilotos licenciados, reduzindo ainda mais os custos operacionais (HAMZA et al, 2017).

3.1. Sistemas de detecção e levantamento

A maioria das aplicações de drones em infraestruturas civis requer a incorporação de sistemas de detecção ou levantamento. As câmeras visuais de alta resolução são as mais populares, pois podem ser usadas para, sem limitação, monitorar o canteiro de obras e inspecionar infraestruturas e campos de mineração. As câmeras térmicas são outra opção para pesquisar ou detectar enquanto o campo de visão é restrito, como locais com problemas de iluminação ou edifícios inacessíveis. A termografia de impulso é um método de investigação não destrutivo que se adapta bem à detecção de vazios em estruturas de concreto. Em vez de coletar o fluxo de calor térmico passivo, a termografia infravermelha de impulso dos VANTs pode fornecer informações sobre a degradação estrutural com maior precisão. Detecção e alcance de rádio e detecção e alcance de luz incorporados em drones forneceram formas alternativas de mapeamento. Detectores de metais e câmeras de raios-X foram propostos para fins militares em drones, que também poderiam ser potencialmente equipados em drones comerciais (JAHANSHAHI et al, 2009).

3.2. Sistemas de processamento pós-dados

Além do sistema convencional de pós-processamento de dados, são utilizadas formas inovadoras na extração de informações. O aprendizado de máquina é uma abordagem emergente ao lidar com grande quantidade de dados. Para planejamento e projeto de infraestrutura, os dados típicos adquiridos por meio de drones são imagens. Modelos geométricos 3D podem ser gerados a partir dessas imagens através de métodos manuais ou algoritmos semiautomatizados. Para monitoramento de construção, são necessários vídeos em tempo real ou modelos 3D. Quanto à inspeção de infraestrutura, são empregados algoritmos de aprendizado de máquina e aprendizado profundo (GOPALAKRISHNAN et al, 2017).

Gopalakrishnan et al. propuseram modelos de aprendizado profundo pré-treinados para detecção de danos em rachaduras em imagens de VANT. Kang e Cha detectaram com sucesso rachaduras de concreto com 97,7% de especificidade e 91,9% de sensibilidade do vídeo VANT. Além disso, algoritmos de cor e textura foram desenvolvidos para detectar elementos estruturais ausentes ou deformados e corrosão. Muitos softwares e algoritmos comerciais disponíveis podem ser adotados de outros campos para lidar com grande quantidade de dados obtidos com drones.

3.3. Áreas de aplicação

Até recentemente, os VANTs eram usados principalmente para aplicações militares e eram considerados um dispositivo muito caro para possuir ou operar. No entanto, nos últimos anos, a comercialização de VANTs os tornou uma maneira razoavelmente acessível de capturar imagens aéreas. Disciplinas selecionadas testaram a aplicação de VANTs para documentação aérea. Na arqueologia tem havido o uso de plataformas voadoras de baixa altitude para criar modelos digitais de superfície para dados topográficos precisos de acordo com Martinez-del-Pozo et al. (2013). Com uma variedade de disciplinas pesquisando o uso de VANTs, é compreensível que a disciplina de engenharia civil esteja explorando a aplicação e os benefícios dos VANTs. Drones podem ser usados desde o planejamento até a fase de manutenção de um projeto. Nos tópicos a seguir, são apresentadas algumas áreas em que sua aplicação foi bem sucedida.

3.3.1. Gerenciamento de obras

A gestão da construção é um dos principais focos de pesquisa no que diz respeito à aplicação de VANTs. Irizarry et al. (2012) e Gheisari et al. (2014) usaram o Parrot AR Drone para estudar os benefícios potenciais dos VANTs para os gerentes de segurança. Foi realizado um estudo de caso em duas partes, primeiro estudando a interface de operação de voo para identificar benefícios e deficiências. A segunda parte foi determinar as melhores plataformas de visualização estudando três diferentes opções de visualização de imagens. Como resultado, verificou-se que o iPad foi a melhor plataforma para utilizar a tecnologia para captura e detecção de dados de gestão de segurança.

Elhassan et al. (2015) compararam dois modelos de nuvem de pontos criados de um edifício. Uma nuvem de pontos foi criada coletando imagens com uma câmera portátil e o outro método capturando imagens com um VANT. As nuvens de pontos resultantes foram semelhantes e, portanto, concluiu-se que seria benéfico usar um VANT para coletar imagens de áreas inacessíveis em edifícios.

Wen et al. (2014) usaram imagens aéreas capturadas de um VANT para criar cenas Realidade Aumentada (RA) para ferramentas de planejamento e prática. Um teste de campo foi concluído capturando uma foto a aproximadamente 150-200 m de altitude e integrando a imagem em uma cena RA em combinação com planos de construção 3D. Zollmann et al. (2013) também completaram um estudo usando um VANTs em combinação com a tecnologia de RA. Através do uso de reconstrução 3D aérea e tecnologia RA, vários métodos de interface foram encontrados para apresentar os dados e informações aéreas.

3.3.2. Estruturas

Khan et al. (2015) preveem que um sistema baseado em VANTs pode resultar em avaliações periódicas rápidas de decks de pontes e fornecer mais detalhes de áreas de interesse selecionadas. Ellenberg et al. (2014) compararam as inspeções humanas com as inspeções realizadas com um VANT e constataram que o resultado com um VANT pode fornecer resultados quantitativos melhores do que o de uma inspeção humana.

Zink e Lovelace (2015) prepararam um relatório sobre o uso de VANTs para inspeções de pontes. Quatro pontes de vários tamanhos foram selecionadas como projeto piloto e descobriu-se que os VANTs podem ser usados como ferramenta para inspeções de pontes e devem ser considerados para inspeções de rotina de pontes porque podem minimizar os riscos de segurança associados e reduzir custos. Defeitos podem ser identificados e medições estimadas, no entanto, um VANT não pode substituir as funções práticas como limpeza, sondagem, teste, etc.

3.3.3. Outras áreas

Outras aplicações de VANTs estão sendo exploradas para cenários pós-desastre devido à sua capacidade de manobra e taxa de resposta rápida. Adams et al. (2012) concluíram um estudo usando um VANT para capturar imagens de edifícios individuais e da vizinhança geral após um tornado. Yamamoto et al. (2014) também realizaram dois estudos de caso em locais de desastres. O primeiro estudo de caso foi usar imagens aéreas para criar dados 3D e resultou em uma precisão de 10-34 mm. O segundo estudo de caso foi estudar o uso de imagens aéreas para desenvolver planos pós-desastre e desenvolver custos aproximados de construção. Juntamente com a aplicação em cenários pós-desastre, pesquisadores de VANTs criaram vários algoritmos de planejamento de voo como os completados por Siebert & Teizer (2014) para a criação de nuvens de pontos 3D e Metni e Hamel (2006) que apresentaram um algoritmo para monitoramento de pontes.

3.4. Utilização de VANTs em obras de infraestrutura

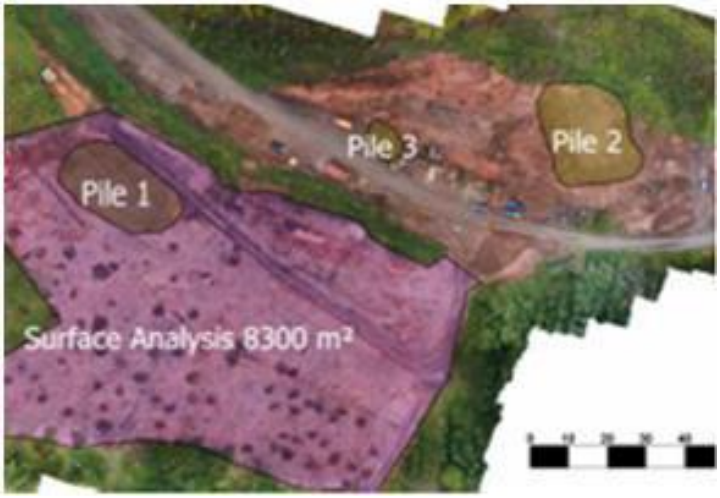
3.4.1. Mapeamento topográfico e volumétrico em obras de terraplenagem

Para avaliar o potencial da aerofotogrametria de VANTs para a engenharia de corte e aterro, Siebert e Teizer (2014) promoveram um estudo comparativo com equipamentos convencionais (estação total) como campo de pesquisa na Alemanha.

A primeira comparação é em termos de coleta de dados. Levando em consideração o tempo gasto para operar, a área de cobertura e a densidade de pontos de coleta por metro quadrado, os resultados mostram que o tempo gasto operando com um drone é quase cinco vezes menor, conseguindo cobrir uma área maior e gerar

pontos mais densos de nuvem. A segunda fase da comparação avaliou medidas de volume de três pilhas de material presentes em um canteiro de obras de 2.000 m² como pode ser visto na Figura 1.

Figura 1 - Área de estudo com destaque para as três pilhas medidas no estudo.



Fonte: SIEBERT; TEIZER (2014).

Nos três casos, o volume medido pelo drone foi superior ao medido pela estação robótica, com diferença entre 8% e 16%. Apesar das discrepâncias observadas, os autores acreditam que as medições mais próximas da realidade podem ser aquelas obtidas por meio de drones, pois acreditam que os poucos pontos de referência coletados pela estação robótica comprometem a precisão das medições.

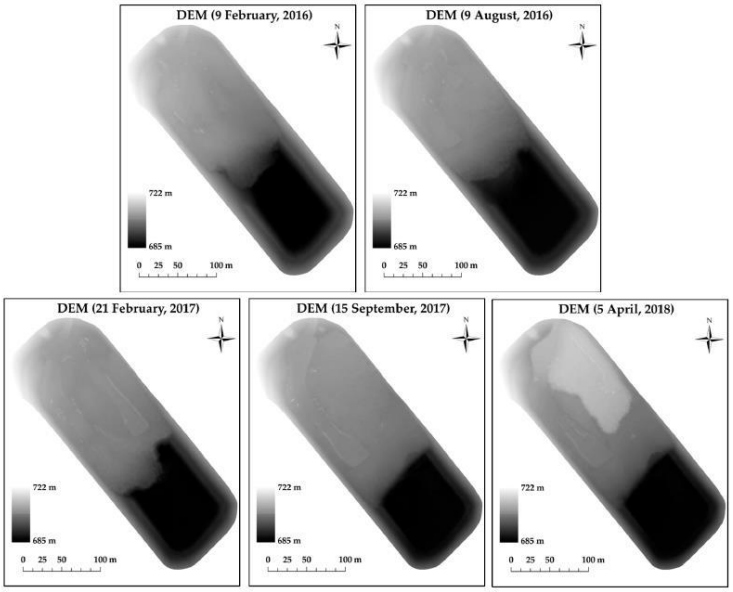
3.4.2. Acompanhamento topográfico em aterro sanitário

Gasperini et al. (2014) avaliaram o potencial de uso da aerofotogrametria de drones associada a pontos de solo precisos para levantamento topográfico de aterros italianos. A precisão de altura de 0,5 m possibilitou a extração de contornos equidistantes a 1 m de distância, satisfazendo o objetivo original. O estudo também mostra que, além de monitorar a evolução do volume da frente de operação ao longo do tempo, também pode ser aplicado para examinar o volume disponível em células aterradas, mas sem maiores aprofundamentos e experimentações.

O estudo de Lozynskyi et al. (2016) usou drones para criar um registro topográfico com requisitos de escala 1:500 e linhas de contorno para atualizações geométricas de um aterro sanitário em Lviv, na Ucrânia, em intervalos de 0,5 m.

Incekara et al. (2019) realizaram um monitoramento de dois anos de um aterro sanitário na Turquia, abrangendo uma área de aproximadamente 4 hectares, operando em vala. Cinco levantamentos aéreos foram realizados a cada seis meses usando drones para avaliar o monitoramento de volume de células aterradas. Esses voos foram realizados a uma altitude de 70 metros e produziram modelos de elevação com resoluções GSD variando de 10,1 a 12,5 cm/pixel. A Figura 2 mostra o MDE produzido por cada operação.

Figura 2 - Histórico de MDEs gerados para o aterro.



Fonte: Incekara et al., (2019).

O processamento das diferenças entre os Modelos Digitais de Elevação (MDE) foi usado para medir o volume restante da célula aterrada entre cada sobrevoo, medindo assim a ocupação da célula ao longo do tempo. Comparando esses resultados com as estatísticas sobre a população dos serviços de coleta de resíduos da região e a taxa de geração per capita, a proporção de resíduos de aterros sanitários é estimada em um valor razoável de 1,15 toneladas/m3, considerando que os dados utilizados para medir o peso de resíduos de aterro é baseado em Estimativa por média estatística, as informações podem variar. Os autores acreditam que as técnicas de medição baseadas em fotografias aéreas têm grande potencial para acelerar as atividades de campo e aumentar a frequência do monitoramento. Destaca-se também o fato de não haver contato direto com os resíduos descartados, melhorando assim a segurança operacional.

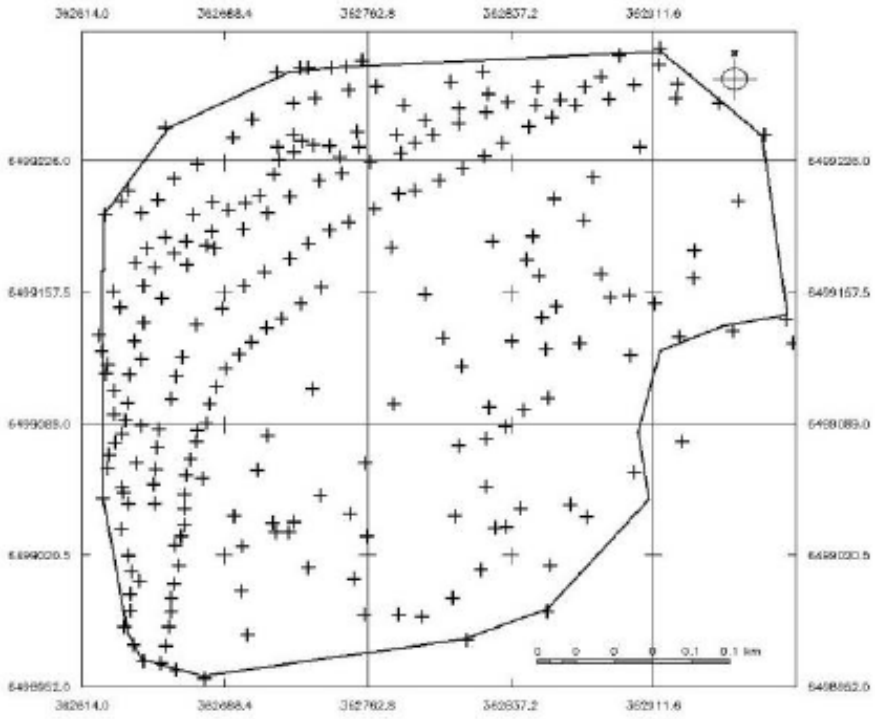
3.5. Utilização de VANTs na mineração

3.5.1. Cálculo volumétrico em áreas de mineração

O monitoramento volumétrico de depósitos e reservas é um parâmetro importante para o planejamento da lavra e avaliação econômica da exploração. Um estudo de Brunch et al. (2019) aplicou drones para mapeamento topográfico em uma área de mineração de ferro de 9 hectares e compararam os resultados obtidos com levantamentos realizados com estações totais convencionais.

Na fase de métodos do trabalho de Brunch et al. (2019), é detalhado o uso de 12 pontos de controle de solo para levantamentos aéreos de VANTs. Esta operação é realizada com sobreposição horizontal de 60% e sobreposição vertical de 70%, e produz uma nuvem de pontos com densidade igual a 218.058 pontos por hectare mapeado. Para levantamentos convencionais, a estação total começa em um ponto com coordenadas cartográficas conhecidas e fornece em média um ponto a cada 5 metros, resultando em uma densidade de 28 pontos por hectare como pode ser visto na Figura 3.

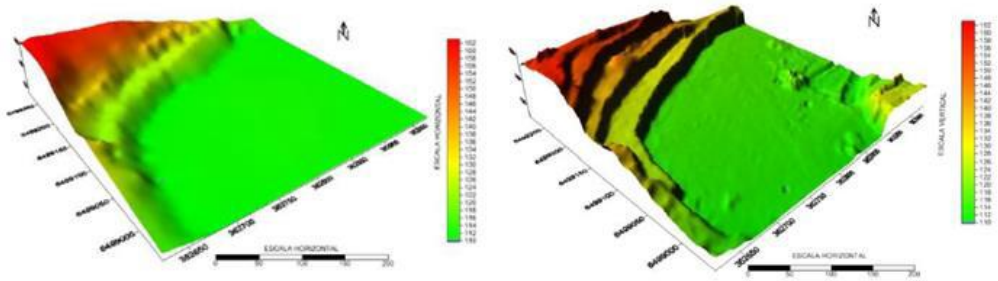
Figura 3 – Rede de pontos coletados pela topografia convencional no terreno do estudo de Brunch et al. (2019).



Fonte: Brunch et al. (2019).

Como resultado, os dados mostraram 4.874.321 metros cúbicos de minério extraídos por terreno convencional e 4.928.889 metros cúbicos por drone, uma diferença de 1,12%. Para o volume restante de minério, o terreno convencional forneceu 1.564.792 metros cúbicos, enquanto a aerofotogrametria com drones calculou 1.454.602 metros cúbicos - uma diferença igual a 7,1%. A Figura 4 mostra o modelo gerado para a área de levantamento usando diferentes técnicas.

Figura 4 – Modelo gerado pela topografia convencional (à esquerda); e por VANT (à direita).



Fonte: Brunch et al. (2019).

Os autores observam que, embora os dados regulares do terreno sejam o verdadeiro valor, devido à densidade muito maior de pontos, especialmente em áreas com obstáculos e terrenos irregulares, as medições de drones podem ser as mais precisas.

3.5.2. Geração de nuvem de pontos para modelagem de mina a céu aberto

Herrena et al. (2010) realizaram um trabalho que a principal aplicação do sistema de VANTs estudado é o levantamento de pedreiras. Em geral, a mineração de pedreiras impacta o meio ambiente de várias maneiras, e esses impactos devem ser monitorados com frequência. Subsidência do solo, deslizamento de terra e instabilidade de talude são os problemas mais perigosos em poços a céu aberto, especialmente considerando a natureza lúbrica do material.

Estudos anteriores sobre avaliação de risco geotécnico mostraram que os dados topográficos devem fornecer uma resolução de solo de um a três centímetros para prever tais eventos (Ivory, 2012; Francioni et al., 2014).

Além disso, os gerentes de minas devem relatar a quantidade de massa extraída, sobras de depósitos de rejeitos e materiais residuais em um regularmente de acordo com os regulamentos governamentais. Portanto, medição de mudança

volumétrica dentro de uma mina a céu aberto é obrigatoriedade. A escala de mapa necessária para medida em terraplenagem é geralmente entre 1:4.000 e 1:10.000 (Patikova, 2004). Dado um sensor de imagem com 10 μm pixels, a resolução do solo deve estar entre 4 a 10 centímetros por pixel para fornecer tal faixa de escala.

Com relação aos argumentos acima mencionados, o mapeamento e monitoramento de um poço a céu aberto requer alta qualidade topográfica e dados visuais. Considerando as necessidades espaciais e temporais, área de cobertura, velocidade de medição e segurança critérios, os VANTs podem ser melhores soluções para mapeamento desse tipo de mina em comparação com sistemas aéreos tripulados ou topografia convencional. Portanto, o mapeamento de minas a céu aberto está lentamente tornando-se uma aplicação prática de VANTs (McLeod et al., 2013; Hugenholtz et al., 2014).

Veículos aéreos não tripulados, também referidos como drones, equipados com vários tipos de sistemas avançados de detecção ou levantamento, são eficazes e de baixo custo na aquisição, entrega e compartilhamento de dados, o que pode beneficiar a construção de infraestruturas e também o setor da mineração.

Este artigo trouxe uma visão geral das aplicações de drones no planejamento, projeto, construção e manutenção nas áreas de infraestruturas e mineração. A plataforma drone, sistemas de detecção e levantamento, e sistemas de pós-processamento de dados foram apresentados, seguidos de casos com detalhes das aplicações. Desafios de diferentes aspectos foram abordados.

As oportunidades de drones incluem: os VANTs equipados com câmeras de alta definição ou outros equipamentos de detecção capazes de inspecionar infraestruturas de difícil acesso; os VANTs podem ser usados como ferramentas eficazes para pesquisar e mapear a paisagem para coletar as informações necessárias antes da construção da infraestrutura ou investigações na mineração. Além disso, um VANT é útil no gerenciamento de construção. Também podem ser usados na coleta de informações de construção, tirando fotos de alta resolução para planejamento futuro de infraestrutura. Os VANTS podem ser usados para fornecer informações de tráfego confiáveis e dinâmicas, o que é potencialmente útil na construção de cidades inteligentes. Os principais desafios são: tempo de voo limitado,

robustez do sinal, análise pós-dados, colaboração multi-drone, condições meteorológicas, distrações ao tráfego causadas por drones.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Avanços recentes na tecnologia geotécnica, como a fotogrametria aérea por drones, proporcionam um cenário onde a coleta de informações geoespaciais para reconstruções digitais e 3D da superfície da Terra é uma realidade disruptiva. A oportunidade de mapear regiões de diferentes tamanhos, ao mesmo tempo em que garante alta precisão posicional e resolução espacial nos resultados, abre um leque de aplicações do uso desses dados como entrada para simular diferentes cenários de intervenção.

Por fim, deve-se notar que o mapeamento aéreo fornece informações que têm aplicações além dos registros e análises de monitoramento. Levantamentos regulares e frequentes em áreas de interesse criam um banco de dados geoespacial para que os gerentes de projeto monitorem seu desempenho operacional em ordem cronológica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRUNCH, A. F.; CIROLINI, A.; THUM, A. B.; CARNEIRO, M. Avaliação da acurácia das cubagens de volumes de mineração através de levantamentos convencionais e fotogramétricos. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 12, n. 1, p. 283-298, 2019.

DUQUE, L., Seo, J., and Wacker, J., "Synthesis of Unmanned Aerial Vehicle Applications for Infrastructures." *Journal of Performance of Constructed Facilitie*s, vol.32, pp.1–10, May.2018.

ELHASSAN, W. M., Nejad, P. S., Daliri, F., and Zhu, Z. 2015. 3D Modeling of Building Indoor Environments with Handheld Camera and Unmanned Aerial Vehicle – A Case Study. *In* the Proceedings of the 15th International Conference on Construction Applications of Virtual Reality, Banff, Alberta., 5-7 October 2015.

FRANCIONI, M., Salvini, R., Stead, D. and Litrico, S., 2014. A case study integrating remote sensing and distinct elemento analysis to quarry slope stability assessment in the Monte Altissimo area, Italy. *Eng Geol*, 183, pp. 290-302.

HAMZA, M., Jehangir, A., Ahmad, T., Sohail, A., and Naeem, M., "Design of surveillance drone with x-ray camera, ir camera and metal detector." *Ubiquitous and Future Networks (ICUFN), 2017 Ninth International Conference on, IEEE*, pp.111–114.

HUGENHOLTZ, C. H., Walker, J., Brown, O. and Myshak, S., 2014. Earthwork volumetrics with an unmanned aerial vehicle and softcopy photogrammetry. *J Surv Eng-ASCE*.

IVORY, J., 2012. An evaluation of photogrammetry as a geotechnical risk management tool for open-pit mine studies and for the development of discrete fracture network models. Master of Science Thesis, UCL, Australia.

INCEKARA, A. H.; DELEN, A.; SEKER, D. Z.; GOKSEL, C. Investigating the utility and potential of low-cost Unmaned Aerial Vehicles in the temporal monitoring of a landfill. *International Journal of Geo-Information*, v. 22, n. 8, p. 1-16, 2019.

IRIZARRY, J., Gheisari, M., and Walker. B.N. 2012. Usability Assessment of Drone Technology as Safety Inspection Tools. Journal of Information Technology in Construction, **17**(2012): 194-212.

GASPERINI, D., ALLEMAND, P., DELACOURT, C. & GRANDJEAN, P. Potential and limitation of UAV for monitoring subsidence in municipal landfills. *International Journal of Environmental Technology and Management*, v. 17, n. 1, p. 1-13. 2014.

GOPALAKRISHNAN, K., Gholami, H., Vidyadharan, A., Choudhary, A., and Agrawal, A., "Crack damage detection in unmanned aerial vehicle images of civil infrastructure using pretrained deep learning model." *International Journal for Traffic and Transport Engineering*, vol.8, pp.1-14, Nov, 2017.

JAHANSHAHI, M. R., Kelly, J. S., Masri, S. F. and Sukhatme, G. S., “A survey and evaluation of promising approaches for automatic imagebased defect detection of bridge structures.” *Structure and Infrastructure Engineering,* vol.5, Aug. 2009.

KHAN, F., Ellenberg, A., Mazzotti, M., Kontsos, A., Moon, F., Pradhan, A., & Bartoli, I. (2015). Investigation on Bridge Assessment Using Unmanned Aerial Systems.

YAMAMOTO, T., Kusumoto, H., and Banjo, K. 2014. Data Collection for a Repaid Recovery Work: Using Digital Photogrammetry and a Small UAV. 2014.

LOVELACE, B., & Zink, J. (2015). Unmanned Aerial Vehicle Bridge Inspection Demonstration Project.

MAIERHOFER, C., Arndt, R., Röllig, M., Rieck, C., Walther, A., Scheel, H., and Hillemeier, B., “Application of impulse-thermography for non-destructive assessment of concrete structures.” *Cement and Concrete Composites*, vol.28pp.393–401, Apr. 2006.

MCLEOD, T., Samson, C., Labrie, M., Shehata, K., Mah, J., Lai, P., Wang, L. and Elder, J. H., 2013. Using video acquired from an unmanned aerial vehicle (UAV) to measure fracture orientation in an open-pit mine. *Geomatica*, 67(3), pp. 173-180.

OLIVEIRA, Gustavo H. Disponível em: https://assenab.com.br/o-uso-de-veiculos-aereos-nao-tripulados-vants-nos-diversos-campos-da-engenharia/#:~:text=No%20Brasil%20o%20SISANT%2FANAC,95.753%20aeronaves%20em%20seu%20cadastro. Acesso em: 03 de novembro de 2022.

PATIKOVA, A., 2004. Digital photogrammetry in the practice of open pit mining. In: *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Dresden, Vol. 34, Part 30, pp. 1-4.

SIEBERT, S., TEIZER, J. Mobile 3d mapping for surveying earthwork using an Unmanned Aerial Vehicle (UAV). *Automation in Construction*, v. 41, p. 1-14, 2014.

ZINK, J., and Lovelace, B. 2015. Unmanned Aerial Vehicle Bridge Inspection Demonstration Project. Available from the Minnesota Department of Transportation Research Services and Library, St. Paul, Minnesota.

ZOLLMANN, S., Hoppe, C., Kluckner, S., Poglitsch, C., Bischof, H., and Reitmayer, G. 2013. Augmented Reality for Construction Site Monitoring and Documentation.