

Panorama sobre o uso de drone na mineração subterrânea

CASSIANO EMÍLIO DA SILVA¹, JOSÉ MARGARIDA DA SILVA², TIAGO ROCHA FARIA DUQUE³

¹Mestrando do PPGEM/ UFOP, e Engenheiro de Minas, Ouro Preto – MG, cassiano.silva@aluno.ufop.edu.br

²Dr. em Engenharia Metalúrgica e de Minas, Prof. Titular do Departamento de Engenharia de Minas/ UFOP,

³Msc. em Ciência Naturais na área de Geologia Estrutural e Tectônica/ UFOP e Engenheiro Geológico na TdMaps.

Apresentado no
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC
15 a 17 de setembro de 2022

RESUMO: Este artigo analisa as pesquisas recentes feitas na área de drones para aplicação na mineração subterrânea. A pesquisa consistiu na busca de palavras-chave e seleção de estudos de caso. O ambiente subterrâneo é difícil para a operação de drones, pois é confinado, com diversos obstáculos, iluminação deficiente, poeira ou umidade. O problema de estabilização e navegação de drones em ambientes de GNSS (Sistema Global de Navegação de Satélite) negado exige soluções especiais que só puderam ser superadas recentemente. São discutidos e comparados sistemas de monitoramento de cavidades tradicionais e o uso de drones como substitutos nesses monitoramentos de cavidades.

PALAVRAS-CHAVE: drones na mineração subterrânea; monitoramento de cavidades com drones; tecnologia na mineração subterrânea.

OVERVIEW OF DRONE USE IN UNDERGROUND MINING

ABSTRACT: This article analyzes recent research carried out in the area of drones for application in underground mining. The research consisted of searching for keywords and selecting case studies. The underground environment is difficult for the operation of drones, as it is confined, with several obstacles, poor lighting, dust or humidity. The problem of stabilizing and navigating drones in denied GNSS environments requires special solutions that could only be overcome recently. Traditional cavity monitoring systems and the use of drones as substitutes in these cavity monitoring are discussed and compared.

KEYWORDS: drones in underground mining; monitoring of cavities with drones; technology in mining underground mine.

INTRODUÇÃO

A mineração tem ampliado a utilização de controle remoto das operações por meio da obtenção de dados e imagens para análise e tomadas de decisão. Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT's) são as aeronaves conhecidas popularmente como drones, voam sem piloto a bordo, são controlados remotamente por ondas de rádio ou de forma autônoma com uma rota pré-determinada. Este tipo de aeronave não apresenta tamanho específico, podem ter asas fixas, multirotores ou ainda híbridos e são equipados com acessórios que permitem fazer vídeos, fotos ou outro sensor portátil para missões determinadas, Kardasz *et al.* (2016).

O desenvolvimento de aeronaves não tripuladas é de longa data. O maior avanço e adesão da tecnologia só foram possíveis na última década, com a produção de drones em larga escala, com qualidade e preço mais acessível produzidos na China.

Vem crescendo o número de empresas de mineração que fazem uso da recente tecnologia que emprega drones equipados com sensores digitais, tirando grande proveito da facilidade da geração de imagens aéreas de alta resolução que podem ser processadas para produzir modelos fotogramétricos de alta resolução e, a partir disso, gerar laudos, previsões e cálculos topográficos, Azhari *et al.* (2017). Os drones são um *hotspot* na pesquisa científica atual, Ren H. *et al.* (2019).

O uso de drones na mineração ainda é pouco difundido no Brasil. No exterior já existem fabricantes, serviços e pesquisas acadêmicas de inovação com o uso de drones no ambiente

subterrâneo. Este artigo pretende reunir informações e aplicações que se tem feito no campo de drones nos ambientes subterrâneos.

MATERIAL E MÉTODOS

O objeto específico desse artigo é avaliar aplicação de drones no ambiente subterrâneo. A metodologia usada para o artigo foi uma revisão sistemática feita de acordo com Sampaio e Mancini (2007). Esta metodologia utiliza como fonte de dados a literatura sobre um determinado tema e disponibiliza um resumo das evidências relacionadas a uma estratégia de intervenção específica, mediante a aplicação de métodos explícitos e sistematizados de busca, apreciação crítica e síntese da informação selecionada.

A seleção de palavras chaves buscou relacionar os termos em inglês *drones and underground mining* em dois bancos de dados científicos, Google acadêmico e Periódico da Capes. Os resultados são apresentados na tabela 01. Cabe ressaltar que a pesquisa dos termos na língua portuguesa não remeteu a nenhum resultado após a aplicação dos critérios de pesquisa. O trabalho de Freire & Cota (2017), a respeito da mina de ouro de Cuiabá em Sabará, Minas Gerais foi publicado em inglês.

Tabela 1. Resultado da pesquisa por palavras chaves

Banco de dados	Resultados apontados	Após uso dos critérios	Artigos disponíveis gratuitamente	Artigos pagos
Google Acadêmico	335	34	21	13
Periódicos da Capes	308			

Fonte: Próprios autores (2021).

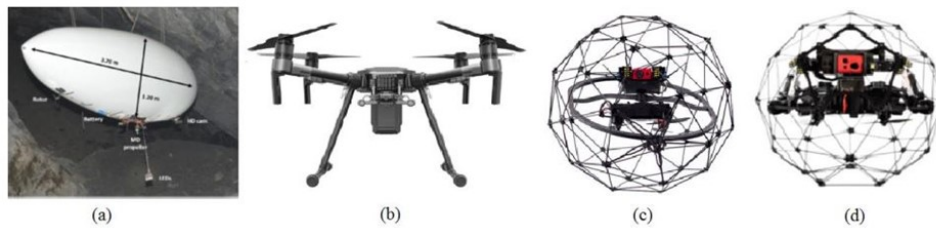
As tecnologias que permitiram o uso de drones em ambientes com GNSS (*Global Navigation Satellite System*) negado como no caso do ambiente subterrâneo são recentes, portanto, a pesquisa considerou artigos com publicação a partir de 2016. Foi usado como critério de exclusão artigos que descreviam operações de drones em ambientes abertos, mesmo que auxiliassem de algum modo a lavra subterrânea, como monitoramento de subsidência de superfície e detecção de gás e incêndio em camadas rasas de minas de carvão subterrâneo. As reportagens de revistas do setor que não possuem caráter científico também foram excluídas. Alguns dos artigos pesquisados apresentam barreira de acesso e necessitam de pagamento para sua leitura. Estes não estão inclusos nas referências bibliográficas já que a leitura fica restrita ao resumo e palavras-chaves do documento. Desta forma, o artigo pretende apresentar um panorama geral das utilidades dos drones na mina subterrânea e fazer uma análise dos fatores positivos e negativos que essa ferramenta pode apresentar para melhorar o gerenciamento da mina.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A mineração subterrânea necessita de maior atenção para manter um nível adequado de segurança por ser executada em um ambiente confinado com vários pontos de transferência de minério e passagens relativamente estreitas que demandam maior atenção e vigilância para não bloquear o escoamento da produção e preservar a vida e o patrimônio da empresa. A tecnologia é um aliado importante para diminuir a exposição ao risco, reduzir custos e monitorar os processos. Alguns exemplos são encontrados com o uso de equipamentos autônomos ou semi autônomos, como nas minas Kiruna e Chuquicamata, (Saga 2021 e ABB, 2020), ventilação sob demanda (VOD) e monitoramento de cavidades a *laser* (CMS) e, recentemente, algumas minas estão experimentando o uso de drones. A flexibilidade de operação de drones no ambiente subterrâneo é restrita se comparada ao uso de drones em operações céu aberto.

Existem muitos desafios para operá-los e coletar imagens de alta qualidade em ambientes subterrâneos, incluindo pouca iluminação e visibilidade, poeira, água, espaços confinados, turbulência do ar e falta de cobertura GNSS para navegação, que é um dos alicerces para gerar estabilidade e evitar colisão, Preston (2017). Os drones que operam em mina subterrânea podem usar uma armadura de proteção para o caso de queda ou colisão (vide figura 01). Existe também experiência com uso de zepelim relatado por Freire & Cota (2017) na mina de ouro de Cuiabá em Sabará, Minas Gerais.

Figura 1 - Tipos de veículos aéreos usados na mineração subterrânea: (a) Zepelim; (b) Dji M210; (c) Elios 1; (d) Elios 2.



Fonte: Shahmoradi, *et al.* (2020).

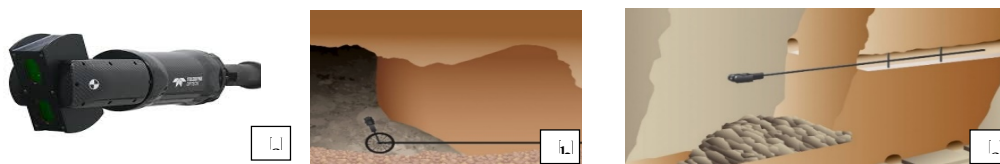
Para contornar o problema da falta de GNSS parte-se para o sistema SLAM (Algoritmo de Localização e Mapeamento Simultâneo) que geralmente funciona usando um *scanner a laser* para construir uma nuvem de pontos do ambiente e dos obstáculos circundantes ao mesmo tempo em que identifica a posição do veículo dentro da nuvem de pontos, Durrant *et al* (2006).

Levantamentos de cavidades são realizados rotineiramente em minas subterrâneas por vários motivos, incluindo inspeção da rocha escavada medições de massa, monitoramento da geometria da cavidade, suas características geológicas, e identificação de condições de rocha potencialmente perigosas. Essas cavidades que são numerosas incluem realces, passagens de minério e outras aberturas subterrâneas, Ahmed *et al.* (2021).

Embora existam áreas que são barricadas e de acesso restrito a trabalhadores, como realces e passagens de minério, se faz necessário caracterizar as propriedades da rocha dentro dessas áreas para completar análises de estabilidade e modelagem de zonas de ruptura potencial. Grandes eventos de queda de rocha vinda dessa área podem criar uma explosão de ar de alta pressão que pode viajar através dos trabalhos subterrâneos, prejudicando potencialmente pessoas, serviços e equipamentos, Becker (2019).

A maioria das minas usam Sistemas de Monitoramento de Cavidade (CMS) para a finalidade de inspeção. Esses sistemas são compostos por um *laser*, que é continuamente girado em diversos ângulos para medir as distâncias das obstruções ao redor do *laser* chefe, Azhari *et al.* (2007). Todos esses pontos coletados durante a varredura constituem nuvem de pontos que é usada para criar uma malha da superfície da cavidade e, posteriormente, usada para criar uma superfície sólida e assim calcular o volume da cavidade Ahmed *et al.* (2017). A figura 02 exemplifica a operação com CMS em campo.

Figura 2 - (a) *Laser* de monitoramento de cavidades. (b) e (c) - Equipamento em operação de leitura.



Fonte: adaptado de: www.teledyneoptech.com

Não é seguro para as pessoas entrarem em todos os locais de uma mina porque algumas áreas podem ter riscos de quedas de rochas pendentes, o que impede a realização de inspeções ou resulta em inspeções feitas de forma parcial, com lacunas de informações de alguns pontos porque o *scanner* só pode ser posicionado dentro da linha de visão da abertura sem suporte, deixando lacuna nos dados em todas as áreas que estão escondidas nos cantos ou atrás de rochas salientes. O tempo gasto de uma inspeção completa incluindo a digitalização pode levar uma hora ou mais. Realces lateralmente extensos e aberturas de formato irregular geralmente requerem várias varreduras separadas de diferentes pontos de acesso. O sistema deve ser mantido estacionário durante as varreduras, deixando o equipamento que produz o *laser* exposto a risco de ser atingido por queda de material, Ahmed *et al.* (2017).

CONCLUSÃO

A indústria de drones está em franco desenvolvimento, existindo inúmeras possibilidades de concepção do número de hélices, formas de propulsão e capacidade de carga. Já se têm empresas de

comércio virtual com testes para entrega de compras por drones e isto deve melhorar em muito a capacidade de carga e autonomia de drones encontrados no mercado bem como o acesso e preço de tecnologia como SLAM, que estão sendo trabalhadas para serem usadas em drones mais simples e com melhor custo-benefício.

As vantagens de usar drones são inúmeras como rápida coleta de dados, baixo custo de repetição de voo, permitindo a inspeção de lugares perigosos de forma inédita e geração de informações e soluções de problemas que antes não podiam ser observados, como casos de minérios presos no realce, em passagens e medições de diluição com *overbreak* com precisão. A aquisição de um drone com sistema SLAM permite executar medições a *laser* e ainda consegue agregar inspeções por vídeo e consegue ser competitivo frente ao sistema tradicional de monitoramento de cavidades.

O desenvolvimento de sensores para mineração necessita de robustez e confiabilidade, pois será submetido a um ambiente em condições severas como alta temperatura, baixa luminosidade, umidade, poeira e obstáculos. O estudo comparativo entre dados coletados pelo sensor portátil do drone e a forma tradicional de coleta devem sempre ser realizados para garantir que o sensor não estará sujeito a interferência e para constatar que os dados possuem qualidade equivalente.

O novo método de inspeção de cavidades que envolve um sistema leve o suficiente para ser montado em drones aéreos está sendo desenvolvido, e é capaz de realizar varreduras fixas e móveis, pode superar todas as dificuldades que o método CMS tradicional possui. A capacidade de digitalização móvel permite que o sistema faça a varredura de áreas bloqueadas por obstruções no CMS tradicional. O tempo de configuração e digitalização é reduzido e não é preciso realizar o registro de pré digitalização que consome muito tempo. Um sensor a *laser* portátil também é refletido e medido, permitindo dedução de características, como rachaduras e rupturas a partir dos dados coletados garantindo a extração de características geotécnicas do maciço, Ahmed et. al. (2017). A varredura móvel baseada em drone leva poucos minutos e envolve o voo para dentro e para fora do realce com o *scanner* em execução no modo SLAM. A varredura realizada é mais detalhada do que a realizada pelo *scanner* CMS tradicional, a densidade da nuvem de pontos é maior, mais uniforme e sem pontos de sombras.

Ainda existem deficiências no uso de drones nestes ambientes que precisam ser sanadas. O sinal entre o piloto e o drone pode ser perdido em curvas, em torno de obstáculos ou devido à distância. Além disso, uma colisão ou acidente do equipamento tem grandes consequências e normalmente resultará em danos no equipamento, Becker (2019).

O uso de drones na mineração tem se tornado cada vez mais comum em cavas a céu aberto no Brasil e vem crescendo cada vez mais principalmente devido à viabilidade e adaptabilidade. Apesar de despertar interesse, o elemento que o limita o uso é o manuseio das imagens e do equipamento. A tecnologia de drones no ambiente subterrâneo é compatível com o contexto de uma mineração inteligente com uma gestão científica baseada em dados de campo e inspeção constantes para aumentar a segurança e a produtividade.

REFERÊNCIAS

- ABB - Enfrentando os desafios da mineração autônoma e livre de CO₂. Disponível em: <<https://new.abb.com/news/pt-BR/detail/70116/enfrentando-os-desafios-da-mineracao-autonoma-e-livre-de-co2>>. Acesso em: 15 ago. 2022.
- Ahmed, S. N., Gagnon, J. D., Makhdoom, M. N., Naeem, R., & Wang, J. New methods and equipment for three-dimensional laser scanning, mapping and profiling underground mine cavities. In: Proceedings of the First International Conference on Underground Mining Technology. Australian Centre for Geomechanics, 2017. p. 467-473.
- Azhari, F., Kiely, S., Sennersten, C., Lindley, C., Matuszak, M., & Hogwood, S.. A comparison of sensors for underground void mapping by unmanned aerial vehicles. In: Proceedings of the First International Conference on Underground Mining Technology. Australian Centre for Geomechanics, 2017. p. 419-430.
- Becker, R. Development of a Methodology for the Evaluation of UAV-Based Photogrammetry: Implementation at an Underground Mine. [Tese de Mestrado] Montana Tech. 2019.
- Brown, L. *et al.* The Design of Prometheus: A Reconfigurable UAV for Subterranean Mine Inspection. Robotics, 2020, v. 9, n. 4, p. 95.

- Cong, T. K.; Heng, L. Y.; Xiang, T. Z.. Mapping of unknown environments with an autonomous drone swarm. Group, 2019, v. 11, p. 17.
- Cunha, F.; Youcef-Toumi, K.. Ultra-wideband radar for robust inspection drone in underground coal mines. In: 2018 IEEE International Conference on Robotics and Automation. IEEE, 2018. p. 86-92
- Durrant-Whyte, H., & Bailey, T. Simultaneous Localization and Mapping: Part 1. *IEEE Robotics & Automation Magazine*, 2006, 99-108
- Debashish, C.; Srikant, A. Development of systems for monitoring stability of large excavations. In: Recent Advances in Rock Engineering (RARE 2016). Atlantis Press, 2016. p. 429-439.
- Ferreira, T. R. Volume útil de pilha de granel com retomada inferior. [Tese de mestrado] PPGEM/UFOP] 2017.
- Fite, R., Khattak, S., Feil-Seifer, D., & Alexis, K. History-Aware Free Space Detection for Efficient Autonomous Exploration using Aerial Robots. In: 2019 IEEE Aerospace Conference. IEEE, 2019. p. 1-8.
- Freire, G. R.; Cota, R. F. Capture of images in inaccessible areas in an underground mine using an unmanned aerial vehicle. In: Proceedings of the First International Conference on Underground Mining Technology, Proceedings. 2017, Australian Centre for Geomechanics.
- Hovermap. Emesent. Disponível em: <<https://www.emesent.io/hovermap/>>. Acesso em: 6 Feb.2021.
- Green, J.; Marnewick, A.; Pretorius, J. H. C. Requirements elicitation interviews and applications for an underground remote-piloted aerial system. 2016.
- Hoffman, S. R. Latching mechanism between UAV and UGV team for mine rescue. 2017. Tese de Doutorado. University of Alaska Fairbanks.
- Janiszewski, M. Photogrammetric solutions for rock mass characterization in underground openings. 2020.
- Jones, E., Sofonia, J., Canales, C., Hrabar, S., & Kendoul, F. Advances and applications for automated drones in underground mining operations. In: Proceedings of the Ninth International Conference on Deep and High Stress Mining, Proceedings. The Southern African Institute of Mining and Metallurgy, 2019. p. 323-334.
- Jones, E., Sofonia, J., Canales, C., Hrabar, S., & Kendoul, F. Applications for the Hovermap autonomous drone system in underground mining operations. Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy, 2020, v. 120, n. 1, p. 49-56.
- Kardasz, Piotr *et al.* Drones and possibilities of their using. Journal of Civil & Environmental Engineering, 2016, v. 6, n. 3, p. 1-7.
- Lee, Sungjae; Choi, Yosoon. Reviews of unmanned aerial vehicle (drone) technology trends and its applications in the mining industry. Geosystem Engineering, 2016, v. 19, n. 4, p. 197-204.
- Preston, R. P.; Roy, J. Use of unmanned aerial vehicles to supplement conventional investigation methods for underground open void stability and mitigation. In: Proceedings of the First International Conference on Underground Mining Technology. Australian Centre for Geomechanics, 2017. p. 609-616.
- Raj, P. Use of Drones in an Underground Mine for Geotechnical Monitoring. [Tese de Mestrado] Universidade do Arizona. 2019.
- Raval, S., Banerjee, B. P., Singh, S. K., & Canbulat, I. A preliminary investigation of mobile mapping technology for underground mining. In: IGARSS 2019-2019 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium. IEEE, 2019. p. 6071-6074.
- Ren, H., Zhao, Y., Xiao, W., & Hu, Z. A review of UAV monitoring in mining areas: Current status and future perspectives. International Journal of Coal Science & Technology, 2019, v. 6, n. 3, p. 320-333.
- SAGA - Enfrentando os desafios da mineração autônoma e livre de CO₂. Disponível em: <<https://new.abb.com/news/pt-BR/detail/70116/enfrentando-os-desafios-da-mineracao-autonoma-e-livre-de-co2>>. Acesso em: 15 ago. 2022
- Shahmoradi, J., Talebi, E., Roghanchi, P., & Hassanalani, M. A Comprehensive Review of Applications of Drone Technology in the Mining Industry. Drones, 2020, v. 4, n. 3, p. 34.
- Teledyne Optech [Acesso em: 4 Feb.2021]. Disponível em: <<https://www.teledyneoptech.com/en/home/>>
- Vanegas Alvarez, Fernando. Uncertainty based online planning for UAV missions in GPS-denied and cluttered environments. [Tese de Doutorado] Queensland University of Technology. 2017.