

FEAMIG – FACULDADE DE ENGENHARIA DE MINAS GERAIS
ABNER AUGUSTO ALVES BARBOSA
ALEPH VICTOR ALVES BARBOSA

**A UTILIZAÇÃO DE DRONES NA TOPOGRAFIA PARA OPERAÇÕES DE
MINERAÇÃO**

Belo Horizonte
2024

ABNER AUGUSTO ALVES BARBOSA
ALEPH VICTOR ALVES BARBOSA

**A UTILIZAÇÃO DE DRONES NA TOPOGRAFIA PARA OPERAÇÕES DE
MINERAÇÃO**

Projeto de Pesquisa apresentado ao Professor
Carlos Henrique Passos Mairink como requisito
parcial para aprovação na Disciplina Trabalho
de Conclusão de Curso

Belo Horizonte
2024

*Dedicamos este trabalho a todos que
contribuíram direta ou indiretamente
para a nossa formação acadêmica.*

RESUMO

A crescente demanda por recursos minerais e a necessidade de operações minerárias mais seguras e eficientes têm impulsionado a adoção de drones na topografia para mineração. Este trabalho explora como essa tecnologia contribui para o aprimoramento das atividades de planejamento, monitoramento e gestão das operações. Ao substituir ou complementar métodos convencionais de levantamento, os drones oferecem precisão elevada, reduzindo custos operacionais e o tempo de execução. Equipados com câmeras de alta resolução e sensores como o LiDAR, os drones possibilitam a coleta de dados geoespaciais detalhados e tridimensionais de áreas extensas, incluindo regiões de difícil acesso, sem a necessidade da presença física de profissionais em campo. Essa capacidade não só melhora a qualidade das informações obtidas como também aumenta a segurança dos trabalhadores ao minimizar sua exposição a áreas perigosas. A pesquisa avalia os benefícios do uso de drones na mineração, discutindo os ganhos em produtividade, segurança e sustentabilidade, além de abordar as limitações e os desafios regulatórios para sua implementação no setor minerário brasileiro.

Palavras-chave: Mineração, Drones, Topografia, Planejamento, Monitoramento, Segurança.

ABSTRACT

The increasing demand for mineral resources and the need for safer, more efficient mining operations have driven the adoption of drones in mining surveying. This study explores how drone technology enhances planning, monitoring, and management activities in mining operations. By replacing or complementing traditional surveying methods, drones offer high accuracy, operational cost reductions, and faster data collection. Equipped with high-resolution cameras and LiDAR sensors, drones enable the capture of detailed three-dimensional geospatial data across large areas, including challenging or inaccessible regions, without the need for field personnel. This capability not only improves data quality but also enhances worker safety by minimizing their exposure to hazardous zones. The research assesses the benefits of using drones in mining, discussing improvements in productivity, safety, and sustainability, and addressing the regulatory challenges and limitations involved in their implementation within the Brazilian mining sector.

Keywords: Mining, Drones, Surveying, Planning, Monitoring, Safety.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Estação Total

Figura 02 – Nível Topográfico

Figura 03 – Ecobatímetro

Figura 04 – GNSS RTK

Figura 05 – Drone DJI Phantom 4 Pro

Figura 06 – Drone com sensores LiDAR

Figura 07 – Drone aquático equipado com ecobatímetro CHC APACHE 3

LISTA DE ABREVIações E SÍMBOLOS

ANAC: Agência Nacional de Aviação Civil

ANATEL: Agência Nacional de Telecomunicações

ANM: Agência Nacional de Mineração

DECEA: Departamento de Controle do Espaço Aéreo

GPS: *Global Positioning System* (Sistema de Posicionamento Global)

GNSS: *Global Navigation Satellite System* (Sistema Global de Navegação por Satélite)

LiDAR: *Light Detection and Ranging*

MDE: Modelo Digital de Elevação

MDT: Modelos Digitais do Terreno

MDS: Modelos Digitais da Superfície

RBMC: Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo

RPA: Aeronave Pilotada Remotamente

RTK: *Real Time Kinematic*

SGB: Sistema Geodésico Brasileiro

VANT: Veículo Aéreo Não Tripulado

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	3
2 JUSTIFICATIVA	4
3 PROBLEMAS E OBJETIVOS.....	5
3.1 Perguntas de Pesquisa	5
3.2 Objetivo Geral	6
3.3 Objetivos Específicos	6
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	7
4.1 TOPOGRAFIA CONVENCIONAL	7
4.1.1 História e Evolução da Topografia na Mineração.....	7
4.1.2 Aplicações tradicionais de topografia na mineração	8
4.1.3 Conceitos de topografia.....	9
4.1.4 Estação Total	11
4.1.5 Nivelamento	12
4.1.6 Batimetria	13
4.1.7 GNSS	15
4.1.8 Sistema Geodésico Brasileiro	16
4.2 DRONES NA TOPOGRAFIA.....	17
4.2.1 História da Fotogrametria	17
4.2.2 Veículo Aéreo Não Tripulado – VANT	18
4.2.3 Drones na topografia para mineração	21
4.2.4 Drones com LIDAR.....	23
4.2.5 Drones com GNSS	24
4.2.6 Drones com ecobatímetro	25
4.2.7 Legislação	26
5. ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE MÉTODOS CONVENCIONAIS E O USO DE DRONES.....	27

5.1 Tempo e Eficiência.....	28
5.2 Custo.....	28
5.3 Precisão e volume de dados	29
5.4 Segurança e Sustentabilidade.....	30
6. IMPLICAÇÕES ECONÔMICAS E OPERACIONAIS DO USO DE DRONES NA MINERAÇÃO.....	31
7. DESAFIOS E LIMITAÇÕES NA IMPLEMENTAÇÃO DE DRONES	33
CONCLUSÃO.....	35
REFERÊNCIAS.....	37

1 INTRODUÇÃO

Com o aumento constante da demanda por recursos minerais e, como consequência, a ampliação das operações minerárias, destaca-se o papel fundamental da topografia na mineração. Essa disciplina fornece dados imprescindíveis para o planejamento, monitoramento e gestão das atividades do setor.

Nesse contexto, a utilização de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT), popularmente conhecidos como drones, vem transformando a mineração. A aplicação dessa tecnologia permite a coleta eficiente de dados geoespaciais em grande volume, fornecendo informações que otimizam processos de exploração e extração mineral, além de melhorar a eficiência e a segurança das operações.

Drones equipados com diferentes tipos de sensores têm se mostrado ferramentas cruciais, capazes de superar as limitações que os métodos de levantamento topográfico convencional possuem. Esses métodos tradicionais, muitas vezes, exigem a presença física de equipes em campo, o que pode ser perigoso e demorado, especialmente em terrenos acidentados ou de difícil acesso. Além disso, os métodos convencionais costumam demandar mais tempo para a coleta e processamento dos dados, o que pode atrasar decisões críticas em ambientes onde é necessário dinamismo.

Diante do exposto, o presente trabalho visa demonstrar como a utilização de drones para a aquisição de dados topográficos melhora a eficiência e a velocidade dos levantamentos, aumenta a segurança e possibilita uma significativa redução de custos e tempo. A capacidade dos drones de capturar dados detalhados e precisos em menos tempo, além de acessar áreas inacessíveis ou perigosas, oferece uma vantagem competitiva inegável. A análise automatizada dos dados capturados por drones também facilita a rápida geração de modelos digitais de terreno, mapas tridimensionais e outras representações geoespaciais, aprimorando a gestão e o monitoramento contínuo das operações minerárias.

Em suma, tem-se como objetivo explorar como o uso de drones na topografia para mineração pode otimizar o planejamento, monitoramento e gestão de operações.

Abordará, para tanto, as questões relacionadas a como essa tecnologia pode aumentar a precisão e a eficiência, reduzir os custos operacionais e mitigar os riscos associados às atividades mineradoras.

2 JUSTIFICATIVA

Este projeto surge como resposta a uma demanda contemporânea da mineração: aperfeiçoar os levantamentos topográficos com o uso de drones. A mineração, enquanto indústria estratégica, exige alta precisão e agilidade na coleta de dados geoespaciais para garantir eficiência operacional. Contudo, os métodos convencionais de levantamento topográfico apresentam limitações significativas, tais como longos períodos de coleta de dados, elevados custos e a exposição de trabalhadores a situações de risco.

O problema central que este projeto busca resolver é a ineficiência dos métodos convencionais de levantamento topográfico, que são muitas vezes lentos, caros e limitados em sua capacidade de coletar dados detalhados e precisos, especialmente em áreas de difícil acesso ou em terrenos perigosos. Dados do Instituto Brasileiro de Mineração (IBRAM) indicam que cerca de 40% das operações mineradoras no Brasil ainda utilizam técnicas de levantamento convencionais, o que resulta em custos operacionais mais elevados e maior risco para as equipes de campo (IBRAM, 2023).

A importância de se resolver esse problema vai ao encontro da competitividade e da viabilidade da indústria de mineração, que depende de processos de levantamento que sejam não apenas precisos, mas também produtivos em termos de tempo e custo. A implementação de drones como ferramenta principal para levantamentos topográficos oferece uma oportunidade de melhorar a maneira de coletar dados como uma solução rápida e econômica. Com drones, é possível coletar informações de alta qualidade em um tempo muito menor, com custos operacionais muito menores e reduzir consideravelmente os riscos para as equipes de campo.

O tema proposto aborda um dos principais desafios enfrentados pela indústria de mineração na atualidade: a necessidade de adotar métodos tecnológicos e inovadores para aumentar a eficiência em um mercado de alta competitividade e exigências crescentes.

Diante do exposto, é notória a necessidade de se entregar uma solução eficiente para as limitações dos métodos convencionais. Como resposta, os drones tornam o mapeamento muito mais rápido e eficiente, permitindo mapear áreas que são inacessíveis ou perigosas para uma equipe de campo. Com isso, têm-se um aprimoramento do sistema de levantamento topográfico e benefício à segurança do trabalhador.

Ademais, a automação e a digitalização dos dados coletados por drones tornam o processo de integração dessas informações em sistemas de gestão e planejamento mais eficientes, proporcionando uma compreensão mais intuitiva, melhorando as operações e otimizando a tomada de decisões. Tudo isso, resulta em vantagem competitiva, uma vez que permite que as empresas mineradoras obtenham dados em menor tempo, o que proporciona uma gestão mais eficaz e economias significativas a longo prazo.

Em suma, o cerne da pesquisa é a necessidade de otimizar os métodos de pesquisa topográfica na mineração, como uma abordagem imprescindível para intensificar a eficiência, reduzir os custos e melhorar a segurança das operações. Segundo o Instituto Minere (2019), o drone tem um papel crucial na área de mineração, bem como em outras áreas da economia. Assim, este trabalho se apresenta como uma contribuição relevante e inovadora para o campo da engenharia cartográfica e de agrimensura, com impacto direto na indústria de mineração.

3 PROBLEMAS E OBJETIVOS

3.1 Perguntas de Pesquisa

O tema deste projeto aborda a aplicação de drones na topografia para mineração, com o seguinte problema central: como a incorporação de drones nas atividades de topografia pode melhorar o planejamento, o monitoramento e a gestão das operações mineradoras, promovendo eficiência e segurança?

As perguntas norteadoras do estudo são:

1. Quais são os métodos convencionais de topografia utilizados na mineração e suas principais limitações?
2. Como os drones podem otimizar as atividades de levantamento topográfico no setor minerador?
3. Que impactos o uso de drones tem no monitoramento e na gestão das operações de mineração?
4. Quais são os desafios técnicos, operacionais e regulatórios relacionados à implementação de drones?
5. De que forma os drones podem contribuir para práticas mais sustentáveis na mineração?

3.2 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é avaliar a eficiência dos drones na topografia aplicada à mineração, analisando como essa tecnologia pode otimizar processos de planejamento, monitoramento e gestão, bem como reduzir custos operacionais, aumentar a segurança e melhorar a precisão na coleta de dados.

3.3 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos deste trabalho são:

Examinar as limitações dos métodos convencionais de topografia na mineração, com ênfase nas dificuldades enfrentadas em áreas de difícil acesso ou alta periculosidade.

Investigar as vantagens dos drones para levantamentos topográficos na mineração, destacando melhorias em velocidade, qualidade dos dados e segurança.

Realizar uma comparação entre métodos tradicionais e drones, evidenciando ganhos de produtividade e redução de custos operacionais.

Analisar os principais desafios técnicos e operacionais para a implementação de drones, incluindo infraestrutura, treinamento de equipes e integração de dados aos sistemas de gestão.

Avaliar como o uso de drones pode promover a sustentabilidade na mineração, contribuindo para práticas mais seguras e ambientalmente responsáveis.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 TOPOGRAFIA CONVENCIONAL

4.1.1 História e Evolução da Topografia na Mineração

A topografia tem um papel essencial na mineração, fornecendo dados geoespaciais precisos, indispensáveis ao planejamento, monitoramento e controle das operações. Sua história remonta a milhares de anos, desde as primeiras civilizações, que desenvolveram instrumentos rudimentares para medir e delimitar territórios e recursos naturais. Os egípcios, por exemplo, utilizavam a geometria para dividir terras e mapear áreas ao redor do Nilo. Já os gregos desenvolveram a dioptra, um instrumento astronômico e topográfico, considerado precursor do teodolito moderno (WEGEN, 2018).

Os romanos também trouxeram inovações importantes para a engenharia de mineração, aplicando técnicas avançadas para a época em minas como as de cobre em Rio Tinto, na Espanha. Eles desenvolveram métodos de escavação de túneis, que exigiam grande planejamento e conhecimento em matemática e geometria para garantir a segurança das estruturas (MERRETT, 2023). Com o advento da Revolução Industrial no século XVIII, o papel do topógrafo se tornou mais especializado e reconhecido, marcando o início de um período de grande avanço tecnológico.

Durante o século XIX, surgiram os primeiros teodolitos, que substituíram a bússola como ferramenta principal dos topógrafos de minas. Equipados com telescópios e níveis de bolha, esses dispositivos permitiram uma medição mais precisa de ângulos verticais, reduzindo a dependência da orientação magnética que era afetada por

depósitos de minério de ferro. A partir de então, a topografia foi evoluindo, com o desenvolvimento das estações totais eletrônicas e, mais recentemente, a introdução do sistema global de navegação por satélite (GNSS), que aumentou significativamente a precisão e eficiência dos levantamentos (WEGEN, 2018).

Atualmente, a topografia é uma ciência exata, sendo fundamental para a definição de planos de lavra, controle de estabilidade de taludes, cálculo de volumes e monitoramento de deformações. Embora os princípios básicos da topografia se mantenham, os instrumentos evoluíram rapidamente, com a introdução de tecnologias como o Laser Scanner Terrestre, LiDAR (*Light Detection and Ranging*) e aerofotogrametria por drones. Essas inovações possibilitaram um avanço significativo na capacidade de coleta e processamento de dados, permitindo que a topografia na mineração se tornasse mais segura, rápida e precisa.

4.1.2 Aplicações tradicionais de topografia na mineração

A topografia é essencial na mineração, pois subsidia o planejamento, a execução e o monitoramento das atividades extrativas. Ela oferece suporte técnico necessário à exploração e controle operacional, garantindo precisão nas medições e segurança nas operações, além de atender às exigências regulamentares.

De acordo com o artigo 1º da NRM 17 (Norma Regulamentadora de Mineração), "todas as obras de mineração no subsolo e na superfície devem ser levantadas topograficamente e representadas em plantas adequadas" (BRASIL, 2001). Complementando, a mesma norma especifica que "não é permitido iniciar quaisquer trabalhos de desenvolvimento de uma mina sem os devidos levantamentos topográficos" (BRASIL, 2001), destacando a importância dos levantamentos topográficos para o início e continuidade das operações.

Conforme a definição da ABNT (1994), o levantamento topográfico é descrito como:

“Conjunto de métodos e processos que, através de medições de ângulos horizontais e verticais, de distâncias horizontais, verticais e inclinadas, com instrumental adequado à exatidão pretendida, primordialmente, implanta e materializa pontos de apoio no terreno, determinando suas coordenadas topográficas...”.

As aplicações tradicionais da topografia envolvem uma série de atividades, desde a delimitação das áreas de extração até o cálculo volumétrico do material removido ou estocado, além do monitoramento das condições geotécnicas de estruturas críticas, como taludes e barragens de rejeitos. De acordo com Tuler e Saraiva (2014), a topografia desempenha diversas funções importantes na mineração, incluindo a análise de aspectos geológicos tanto em campo quanto por meio de plantas topográficas. Além disso, auxilia na identificação e demarcação de jazidas, no levantamento de azimutes e ângulos de estruturas rochosas, no cálculo de volumes de rochas a serem detonadas, e na demarcação de áreas de risco. Também contribui para o inventário de sítios arqueológicos, a locação de fundações e poços piezométricos, a definição de frentes de lavra e banquetas, a determinação de volumes em geral e o controle do assoreamento de barragens.

4.1.3 Conceitos de topografia

A topografia é a ciência que se dedica à descrição detalhada da superfície terrestre, considerando aspectos horizontais e verticais do terreno. Seu objetivo principal é representar com precisão os acidentes geográficos e as particularidades da área analisada. É uma disciplina fundamental para áreas como engenharia civil, arquitetura e mineração.

Segundo Tuler e Saraiva (2014), a topografia divide-se em duas áreas principais: a topometria e a topologia, que utilizam métodos distintos para mensuração e análise do relevo.

A topometria, originária dos termos gregos *topos* (lugar) e *metron* (medida), foca nos métodos e instrumentos necessários para a medição de grandezas lineares e angulares que determinam as coordenadas exatas de pontos no terreno. Essas medições são a base para a elaboração de mapas e plantas, possibilitando uma representação fiel do espaço e contribuindo para a precisão na execução de projetos e obras. Dentro da topometria, destaca-se o uso de tecnologias como o sensoriamento remoto e o posicionamento por satélite, que empregam ferramentas avançadas, como a fotogrametria aérea e os sistemas de navegação GNSS. Essas tecnologias permitem a obtenção de dados de grandes áreas de maneira rápida e

precisa, facilitando o levantamento e a análise geoespacial em larga escala (TULER; SARAIVA, 2014).

A topologia, por outro lado, dedica-se ao estudo das formas do relevo. Etimologicamente derivada do grego *topos* (lugar) e *logos* (tratado), a topologia se ocupa da representação e interpretação de características altimétricas, como elevações e declives, através da criação de plantas com pontos cotados, curvas de nível e modelagem do terreno. Esse ramo da topografia é essencial para a elaboração de modelos digitais de terreno (MDTs), que permitem análises geomorfológicas detalhadas. Com essas análises, é possível identificar áreas com potencial para escorregamentos e compreender como a morfometria do terreno influencia a estabilidade e os processos erosivos. Esses modelos são particularmente úteis em projetos que demandam uma compreensão profunda das características do solo e da altimetria, como é o caso da mineração (TULER; SARAIVA, 2014).

Dentro do estudo topográfico, a topometria ainda se subdivide em planimetria, altimetria e planialtimetria, cada uma responsável por aspectos específicos. A planimetria concentra-se nas medições de ângulos e distâncias no plano horizontal, enquanto a altimetria aborda as medições de distâncias verticais e diferenças de nível, sendo ambas essenciais para a construção de plantas topográficas detalhadas. A planialtimetria, por sua vez, integra os dois métodos para criar representações tridimensionais do relevo, utilizando curvas de nível e modelos digitais para uma visão completa do terreno (TULER; SARAIVA, 2014).

No contexto da topometria, destaca-se também a técnica da taqueometria, termo derivado dos termos gregos *takhys* (rápido) e *metron* (medida), que indica o foco em medições ágeis e precisas (LOCH; CORDINI, 1995). A taqueometria é aplicada em levantamentos topográficos planialtimétricos, combinando medições horizontais e verticais de maneira eficiente. Essa metodologia é especialmente valiosa em levantamentos de áreas extensas ou de difícil acesso, uma vez que permite a obtenção rápida e simultânea de dados planimétricos e altimétricos. A taqueometria utiliza uma variedade de instrumentos e tecnologias, incluindo equipamentos eletrônicos, possibilitando a construção de mapas topográficos detalhados e

modelos de elevação que servem de suporte para diferentes projetos de engenharia e mineração

Assim, a topografia, com suas divisões em topometria e topologia, constitui uma ciência multifacetada e essencial para o estudo e planejamento do espaço geográfico. Ao integrar técnicas e tecnologias avançadas, ela possibilita uma compreensão detalhada e confiável das características físicas do terreno, fundamentando decisões e ações em áreas estratégicas e de alto impacto, como a mineração e a construção civil.

4.1.4 Estação Total

A estação total (figura 1) é um dos instrumentos mais precisos e versáteis para levantamentos topográficos. Ela combina um teodolito eletrônico e um distanciômetro, permitindo a medição simultânea de ângulos e distâncias. Além disso, as estações totais modernas possuem microprocessadores que realizam cálculos automáticos e permitem o armazenamento e transmissão de dados, eliminando a necessidade de agendas de campo tradicionais (FERREIRA, 2019). Essa integração de funções torna a estação total uma ferramenta essencial para levantamentos de alta precisão, tanto em ambientes naturais como em contextos urbanos e industriais.

Figura 01 – Estação Total, Matozinhos



Fonte: Acervo dos autores (2022).

Uma das principais aplicações da estação total é no nivelamento trigonométrico, que consiste em determinar desníveis de forma precisa por meio da medição de ângulos verticais e distâncias inclinadas entre dois pontos. A técnica é amplamente utilizada em projetos de engenharia e mineração, permitindo o cálculo de desníveis com alta precisão e rapidez. Estudos, como o de Gomes *et al.* (2007), demonstram que o uso de estações totais de diferentes classes de precisão (alta, média e baixa) pode gerar resultados com erros mínimos, desde que sejam aplicadas correções apropriadas para a curvatura da Terra e a refração atmosférica.

A Estação Total Eletrônica consiste em um medidor de distância integrado a um teodolito eletrônico, equipado com cartões magnéticos ou outro método de armazenamento e transmissão de dados, além de um microprocessador que supervisiona continuamente o funcionamento do aparelho. As tradicionais agendas de campo são substituídas pelos cartões de armazenamento (FERREIRA, 2019). Isso facilita o trabalho de campo, permitindo que os dados sejam transferidos diretamente para *softwares* de processamento, otimizando o tempo e a precisão dos levantamentos. Além disso, o uso de estações totais em nivelamento trigonométrico apresenta vantagens significativas em comparação ao nivelamento geométrico, tradicionalmente utilizado para levantamentos altimétricos de precisão, como observado no estudo de Gomes *et al.* (2007).

4.1.5 Nivelamento

O nivelamento é uma técnica utilizada na superfície para medir as diferenças de elevação entre pontos do terreno, sendo especialmente importante quando a precisão do controle altimétrico é fundamental, como no monitoramento de barragens, em estruturas e aplicações industriais. Equipamentos como níveis automáticos, digitais ou a laser são empregados para a obtenção exata das diferenças altimétricas, permitindo um controle rigoroso da altitude entre diferentes pontos.

Em ambientes subterrâneos, o nivelamento é essencial para garantir que as escavações de galerias e túneis sigam as inclinações previstas nos projetos, respeitando a segurança estrutural e assegurando a eficiência da ventilação e drenagem.

O conceito de nivelamento geométrico, em particular, fundamenta-se na comparação das altitudes entre dois pontos próximos, medida por uma linha de visão horizontal, posicionada em um plano entre esses pontos. Esse princípio é essencial para assegurar a precisão das medições topográficas, e o uso de equipamentos específicos para nivelamento contribui para garantir a exatidão necessária nas leituras (FAIX, 2022).

Para realizar o nivelamento (figura 2), utiliza-se uma luneta montada em um suporte que permite a rotação em torno de um eixo central vertical, estabilizado por três parafusos de ajuste, que mantêm o alinhamento adequado. Paralelamente ao eixo de colimação, que é a linha imaginária ligando o centro óptico da luneta ao ponto de interseção dos fios reticulares, há uma nivela de precisão ou um sistema de calibração, o qual deve permanecer paralelo ao eixo de colimação. Esse alinhamento garante que a linha de visão seja mantida horizontal, permitindo que as leituras de elevação sejam precisas e fiáveis (FAIX, 2022).

Figura 02 – Nível Topográfico



Fonte: CPE (2024)

4.1.6 Batimetria

A batimetria é a ciência responsável pelo levantamento das profundidades e da morfologia do leito de corpos d'água, como rios, lagos e mares. Conforme Bilhalva (2013), a palavra batimetria tem sua origem no termo inglês bathmeter que se refere à medida de profundidade. O levantamento batimétrico consiste na coleta de valores

topográficos de posição (X, Y e Z) de áreas submersas, com o objetivo de representar o relevo e estimar o volume de água, quando viável ou necessário. Por meio de técnicas específicas, é possível mapear com precisão a topografia submersa, fundamental para diversas aplicações, como a navegação, a construção de estruturas civis, e o monitoramento ambiental. Historicamente, o método mais utilizado é o ecobatímetro, um instrumento que funciona com base na emissão de ondas sonoras (sonar) que, ao atingirem o fundo, retornam para o equipamento, permitindo calcular a profundidade com base no tempo de retorno do som.

A figura 3 ilustra a operação de ecobatímetro, utilizado nos levantamentos convencionais de batimetria. Esse tipo de instrumento continua essencial para garantir a coleta de dados subaquáticos com precisão e eficiência, mesmo com o surgimento de novas tecnologias.

Figura 03 – Ecobatímetro



Fonte: CPE (2024)

Os ecobatímetros podem ser de feixe único, que emitem um pulso sonoro diretamente sob o barco e capturam uma linha de profundidade, ou de feixe múltiplo, que permitem uma cobertura mais ampla em uma única passagem, coletando dados mais detalhados. Embora o feixe múltiplo ofereça maior precisão, o sistema de feixe único ainda é amplamente utilizado por sua simplicidade e baixo custo. Além desses métodos modernos, a batimetria convencional também pode ser realizada com cabos de sonda, embora este último método seja mais arcaico e menos preciso,

sendo utilizado apenas em situações muito específicas, como em pequenas profundidades.

4.1.7 GNSS

Com o avanço tecnológico, métodos modernos passaram a posicionar equipamentos acima da superfície, como satélites e drones. Tecnologias como GNSS-RTK (Figura 4) trouxeram ganhos em precisão e eficiência para os levantamentos. A tecnologia GNSS-RTK, por exemplo, permite medições com precisão centimétrica, aplicáveis na delimitação de áreas de escavação e controle de acessos.

Figura 04 – GNSS RTK



Fonte: CPE (2019)

Os GNSS (Sistema Global de Navegação por Satélite) são sistemas de navegação constituídos por satélites artificiais que giram em torno da Terra, enviando sinais de rádio que contêm informações perceptíveis, como as efemérides de suas localizações e o instante em que são transmitidas. Esses sinais são transmitidos ao observador que, equipado com um receptor especializado, capta e processa essas informações para determinar sua localização espacial.

O GNSS opera através do princípio de trilateração. Nesta, um observador recebe a posição de um conjunto de satélites, em comparação com um referencial inercial, além da posição relativa do observador em relação a esses satélites. Com esses dados, o utilizador determina sua posição no sistema de referência.

Apesar de geometricamente serem necessárias apenas observações de três satélites para resolver o sistema com três variáveis de posição, é imprescindível uma quarta observação devido à discrepância entre o relógio atômico no satélite, que produz o sinal, e o relógio do receptor (MONICO, 2008). Atualmente, existem dois principais sistemas GNSS em uso: o americano NAVSTAR-GPS (Sistema de Navegação com Tempo e Alcance - Sistema de Posicionamento Global) e o russo GNSS (Sistema de Navegação por Satélite Global). Os sistemas GALILEO (União Europeia) e BEIDOU/COMPASS (China) também são utilizados.

Cada satélite GNSS emite simultaneamente duas ondas portadoras: L1 e L2. Essas duas frequências possibilitam aos utilizadores atenuar a maior parte dos impactos causados pela ionosfera. Conforme sua aplicação, os receptores GNSS podem ser categorizados em navegação, topográfico e geodésico. Os receptores geodésicos têm a habilidade de detectar as duas frequências emitidas pelos satélites (L1 e L2), reduzindo assim os erros de posicionamento (MONICO, 2008).

4.1.8 Sistema Geodésico Brasileiro

Segundo o IBGE (2023), o Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) é composto por redes altimétrica, planimétrica e gravimétrica e passou por uma importante evolução com a adoção de tecnologias de satélite, especialmente o GNSS. Essa inovação permitiu a ampliação do SGB para regiões antes inacessíveis, como a Amazônia, facilitando o mapeamento sistemático do território brasileiro.

A Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS (RBMC) é uma rede de estações geodésicas que captam dados GNSS com alta precisão, em torno de ± 5 mm. Esse nível de exatidão coloca a RBMC entre as redes geodésicas mais precisas do mundo. As estações da RBMC, espalhadas pelo Brasil, operam continuamente e integram o Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS), garantindo alta precisão em aplicações geoespaciais e contribuindo para

o serviço global IGS (International GNSS Service), essencial para o monitoramento e a densificação regional desde 1997.

O sistema altimétrico do Brasil é referenciado ao geóide — superfície equipotencial do nível médio do mar. O Datum altimétrico, localizado em Imbituba (SC), é o ponto de referência para medições altimétricas nacionais, e as atividades de densificação são realizadas mediante a instalação de Referências de Nível (RRNN), utilizando nivelamento geométrico e gravimétrico.

4.2 DRONES NA TOPOGRAFIA

4.2.1 História da Fotogrametria

A fotogrametria, segundo Andrade (1998, apud FERREIRA, 2019, p. 15), é definida como a ciência e tecnologia de obtenção de informações confiáveis por meio de processos de registro, interpretação e mensuração de imagens. Essa técnica destaca-se na elaboração de mapas e na colaboração com outras disciplinas, como a Geodésia e a Cartografia, utilizando imagens para determinar o posicionamento de pontos na superfície terrestre e mapear diversos aspectos do terreno. Assim, a fotogrametria se apresenta como uma ferramenta indispensável para aplicações que demandam precisão e detalhamento espacial.

A fotogrametria teve origem com o cientista e agrimensor francês Aimé Laussedat, em 1851, que estabeleceu os fundamentos técnicos da disciplina. O primeiro avanço significativo ocorreu com a invenção do estereocomparador que possibilitou a visualização em perspectiva, permitindo a percepção de objetos em diferentes aspectos conforme sua posição em relação à luz e à figura. Essa inovação facilitou a substituição de diversos cálculos por meio de dispositivos ópticos mecânicos (COELHO e BRITO, 2007).

O progresso da fotogrametria continuou com Theodore Scheimpflug, em 1911, que introduziu um método para retificação de fotografias aéreas, viabilizando o mapeamento de extensas áreas. Os retificadores analógicos foram gradualmente trocados por restituidores analógicos, que permitiam a visão estereoscópica através de pares de fotografias sobrepostas. Simultaneamente, surgiram os processos de

fototriangulação analógica, que possibilitaram a densificação de pontos de controle e o uso de câmaras métricas (COELHO e BRITO, 2007).

A revolução da fotogrametria se intensificou com a chegada dos computadores, que automatizaram os cálculos antes feitos por mecanismos mecânicos. Assim, a fotogrametria analítica emergiu, incorporando técnicas de tratamento matricial, soluções de mínimos quadrados, múltiplas imagens e análise da propagação de erros. Uki Helava contribuiu para esse avanço ao criar o conceito de restituidor analítico, que mensurava as coordenadas de pontos homólogos, possibilitando a fototriangulação de blocos maiores e o uso de câmaras não métricas (COELHO e BRITO, 2007).

Na década de 1980, a fotogrametria digital marcou uma nova era, utilizando imagens digitais como dados primários. Com computadores já capazes de lidar com grandes volumes de dados gerados pela tecnologia digital, foi possível criar produtos digitais, como ortoimagens e mosaicos. De acordo com Coelho e Brito (2007), o principal objetivo da fotogrametria digital é a reconstrução automática do espaço tridimensional a partir de imagens bidimensionais.

4.2.2 Veículo Aéreo Não Tripulado – VANT

Os veículos aéreos não tripulados (VANTs), popularmente conhecidos como drones (Figura 05), foram inicialmente desenvolvidos para o mercado militar, mas vêm conquistando mercados civis e industriais. Segundo Gonçalves e Denadai (2019), essa tecnologia representa uma inovação transformadora, facilitando a realização de atividades antes executadas exclusivamente por humanos. Entre suas aplicações, destaca-se o uso na topografia.

Figura 05 – Drone DJI Phantom 4 Pro, Matozinhos-MG



Fonte: Acervo dos autores (2021).

Ao serem equipados com diferentes tipos de sensores, como câmeras de alta resolução e sensores LiDAR, os drones permitem a captura de dados geoespaciais de alta precisão e em grande quantidade, facilitando a criação de modelos digitais de terreno (MDT) e modelos digitais de superfície (MDS), que são essenciais para o planejamento e monitoramento contínuo das operações minerárias, oferecendo uma visão detalhada do terreno e do ambiente ao redor das minas (MERRETT, 2023).

Uma das principais vantagens do uso de drones na mineração é a capacidade de cobrir grandes áreas em pouco tempo, proporcionando dados atualizados com frequência, fundamentais para o mapeamento de frentes de lavra, cálculo de volumes dos materiais extraídos, entre outras aplicações. Além disso, os drones possibilitam levantamentos remotos, eliminando a necessidade de expor os topógrafos a áreas de risco. Assim, pode-se fornecer resultados mais ágeis e de alta qualidade, produzindo dados com mais detalhes e aumentando a produtividade (NETO; RAMOS, 2023). Esse recurso permite o sobrevoo em regiões de difícil acesso, reduzindo o custo e aumentando a eficiência operacional.

De acordo com Soares et al. (2024), os drones são frequentemente usados em minas a céu aberto para a criação de mapas tridimensionais, monitoramento de

encostas, administração de instalações e para garantir a segurança. Entre as tecnologias mais inovadoras, destaca-se a fotogrametria aérea com drones, que permite a geração de ortomosaicos, modelos digitais de elevação (MDE) e modelos digitais de terreno (MDT) com alta precisão a partir de imagens capturadas por câmeras de alta resolução. Essas tarefas são executadas por meio de nuvem de pontos, que são uma sequência de coordenadas geradas por um dispositivo laser ou uma sequência de fotografias sobrepostas, resultando em um modelo tridimensional em X,Y,Z. (DE DEUS, 2017.)

Além da fotogrametria, o uso de sensores LiDAR permite que os drones penetrem na vegetação, o que é uma vantagem em áreas densamente arborizadas. O LiDAR emite feixes de laser que possibilitam a captura de dados tridimensionais de alta densidade, auxiliando na criação de modelos geológicos e no monitoramento de estabilidade de taludes e deformações no terreno.

Além das vantagens dos drones, é importante considerar os desafios dos métodos tradicionais, que ainda desempenham um papel relevante. O levantamento topográfico convencional com estações totais pode ser demorado, exigindo a presença constante de equipes de campo em ambientes desafiadores, sujeitos a variações climáticas e a riscos como desmoronamentos e movimentação de equipamentos pesados. Segundo o artigo 14 da NRM 17 (BRASIL, 2001), as mineradoras devem atualizar as plantas e mapas ao menos uma vez por ano, o que representa um desafio logístico e financeiro, principalmente em grandes projetos.

Estudos de caso em empresas de mineração demonstram que o uso de drones resulta em economia de tempo e custos, além de aumentar a segurança dos trabalhadores. Em uma mina de calcário, o uso de drones reduziu o tempo de coleta de dados de dias para poucas horas, e o custo operacional foi reduzido em até 50% (WEGEN, 2018). Essa evidência reforça o potencial dos drones como ferramenta essencial para a modernização e otimização da mineração, embora métodos tradicionais ainda sejam necessários em situações onde a precisão máxima é exigida ou onde as condições operacionais inviabilizam o uso de drones.

Em termos de precisão, a tecnologia LiDAR e a fotogrametria com drones produzem dados comparáveis ou até superiores aos métodos convencionais, como as

estações totais e o GNSS-RTK, especialmente em áreas extensas. O processamento dos dados é facilitado por softwares de modelagem e análise geoespacial, gerando mapas topográficos, ortofotos e nuvens de pontos tridimensionais, que permitem ajustes rápidos e informados nas operações, otimizando a gestão e a eficiência da mineração.

4.2.3 Drones na topografia para mineração

O uso de drones na topografia para mineração vem crescendo rapidamente, consolidando-se como uma ferramenta indispensável em diversas operações. Para as empresas do setor, que enfrentam desafios com padrões ambientais rigorosos, os drones apresentam uma solução eficaz para monitoramento e controle dessas condições.

Equipados com sensores multiespectrais e termográficos, os drones podem identificar mudanças sutis no ambiente que indicam degradação ou contaminação, facilitando a implementação de medidas corretivas antes que problemas maiores ocorram. Além de contribuir para a sustentabilidade, essa capacidade auxilia na mitigação de riscos legais associados à degradação ambiental.

Outro aspecto relevante na adoção de drones na mineração é o impacto positivo no planejamento e execução de programas de recuperação ambiental. Segundo Rosa (2005, p. 81), são poderosas ferramentas de geoprocessamento em tomadas de decisão. Em torno da temática que circunda a mineração e meio ambiente, essa gama de inovações tecnológicas vem difundindo papel crucial diante da crescente degradação ambiental. A capacidade de realizar levantamentos regulares e detalhados permite que as mineradoras implementem programas de reabilitação em áreas degradadas de maneira mais eficaz e direcionada, observando com precisão as mudanças no solo e na vegetação. Inspeções frequentes com drones podem identificar focos de poluição e degradação antes que eles se agravem, possibilitando intervenções rápidas e preventivas. Assim, os drones estão desempenhando um papel fundamental no esforço para tornar a mineração mais sustentável e menos impactante ao meio ambiente.

Na mineração subterrânea, os drones ajudam a resolver um dos maiores desafios: a inspeção de áreas de risco. Equipados com câmeras de alta definição e sensores infravermelhos, os drones permitem que as empresas inspecionem galerias e túneis sem arriscar a vida dos trabalhadores. Conforme mencionado por Feital (2017), esses drones conseguem mapear áreas com baixa iluminação e realizar voos em ambientes confinados, oferecendo uma visão precisa das condições estruturais dos túneis e identificando pontos de risco, como desmoronamentos iminentes ou falhas na ventilação. Isso não só aumenta a segurança dos trabalhadores, como também reduz o tempo de inatividade necessário para que as inspeções sejam feitas manualmente.

Além dos benefícios operacionais, a evolução da regulamentação e das políticas públicas voltadas para o uso de drones na mineração é um fator determinante para a expansão dessa tecnologia. No Brasil, onde a mineração é um dos principais pilares econômicos, a definição de normas claras e favoráveis ao uso de drones em áreas mineradas pode acelerar significativamente sua adoção. Governos e reguladores ambientais estão cada vez mais utilizando drones para fiscalizar essas áreas, verificando o cumprimento das legislações ambientais e auxiliando na fiscalização de áreas de preservação, como destacado por Mendes (2019). Drones são usados para verificar os limites de exploração, o estado das áreas de preservação e o progresso de projetos de recuperação ambiental, ajudando a garantir que as empresas sigam os padrões exigidos.

De acordo com Coelho et al. (2019), o uso de drones para levantamento fotogramétrico em mineração oferece vantagens econômicas, apesar do investimento inicial em equipamentos e treinamento. Esse tipo de levantamento é mais eficiente em termos de custo e tempo, além de reduzir a necessidade de grandes equipes em campo e de interrupções operacionais. No entanto, a implementação de drones enfrenta desafios, especialmente para mineradoras de pequeno e médio porte, devido às regulamentações rígidas impostas pela ANAC e pelo DECEA.

Outro desafio enfrentado diz respeito à autonomia de voo, que refere-se ao tempo máximo que um drone consegue permanecer no ar com uma única carga de bateria. Esse tempo, que geralmente varia entre 20 e 60 minutos, pode ser um obstáculo,

pois influencia diretamente na duração das operações. Em áreas de grande extensão, como minas, essa limitação impõe a necessidade de múltiplos voos para completar a cobertura total, o que pode aumentar o tempo e o esforço necessários para concluir as tarefas de levantamento (RIGO, 2022).

4.2.4 Drones com LIDAR

Ainda no campo da automação e inovação tecnológica, o uso de drones aéreos e terrestres se mostra promissora. Em grandes minas, onde tanto o levantamento aéreo quanto o terrestre são necessários, drones e veículos não tripulados terrestres podem trabalhar em sincronia, coletando dados complementares de diferentes perspectivas. Esse tipo de integração permite uma visão tridimensional ainda mais detalhada do terreno e das operações, aumentando a precisão dos modelos geospaciais gerados. Por exemplo, enquanto os drones capturam imagens aéreas e realizam o levantamento LiDAR (figura 06) de grandes áreas abertas, os veículos terrestres podem acessar áreas subterrâneas ou com coberturas, mapeando túneis ou galpões e estruturas industriais.

Figura 06 – Drone com sensores LiDAR



Fonte: Yellowscan (2023)

A utilização de drones com tecnologia LiDAR vêm se destacando como uma ferramenta essencial para levantamentos topográficos na mineração (Figura 06).

Essa tecnologia emprega pulsos de laser emitidos pelo sensor acoplado em um drone para mapear o terreno e objetos em três dimensões, gerando uma visualização detalhada da superfície. Esse avanço supera limitações de métodos tradicionais, como as estações totais e receptores GNSS-RTK, que podem apresentar desafios em ambientes complexos (NETO; BREUNIG, 2019).

A capacidade dos drones com LiDAR de penetrar na vegetação é particularmente útil na geração de modelos digitais de terreno (MDT) em áreas cobertas por vegetação ou de difícil acesso, fundamentais para o planejamento de frentes de lavra, áreas inexploradas ou em recuperação ambiental. Ao permitir uma coleta de dados precisa mesmo em áreas de vegetação densa, o LiDAR se mostra indispensável para capturar variações sutis no relevo, identificando deformações que podem comprometer a segurança das operações minerárias (MERRETT, 2023).

Em termos de eficiência, drones com LiDAR oferecem a vantagem de cobrir grandes áreas em menos tempo e com menor risco para os topógrafos, que não precisam se deslocar por terrenos perigosos ou irregulares. Além disso, os dados coletados podem ser processados rapidamente por softwares avançados de modelagem geoespacial, resultando em nuvens de pontos tridimensionais, ortofotos e mapas topográficos precisos. Essa capacidade de capturar e analisar rapidamente grandes volumes de dados tem transformado a mineração, contribuindo para a otimização dos processos operacionais e para a conformidade com normas ambientais e de segurança (NETO; BREUNIG, 2019).

4.2.5 Drones com GNSS

A utilização de drones para coletar dados geoespaciais detalhados também tem sido incorporada a sistemas de monitoramento e gestão em tempo real. Softwares de Sistemas de Informação Geográfica são utilizados para processar e visualizar dados obtidos por drones, o que permite que gestores de mineração tenham acesso a mapas e modelos tridimensionais atualizados diretamente em suas plataformas de controle. Esse tipo de integração facilita a tomada de decisões estratégicas em tempo real, como o redirecionamento de rotas de transporte, ajustes no plano de escavação ou a alocação de recursos de forma mais eficiente. Essa capacidade de

resposta rápida é uma vantagem significativa em um setor onde o tempo é um fator vital para o sucesso das operações e para a manutenção da lucratividade.

O desenvolvimento das capacidades de automação dos drones também deve ser considerado. Existem drones programáveis que podem seguir rotas predefinidas e realizar missões de levantamento de forma autônoma, sem a necessidade de um operador em tempo integral. Essa automação não só reduz a carga de trabalho da equipe de campo, mas também minimiza o risco de erros humanos que poderiam comprometer a qualidade dos dados coletados. Além disso, a capacidade de realizar voos autônomos a intervalos regulares permite que os levantamentos sejam realizados de maneira mais consistente, o que resulta em uma base de dados robusta e confiável para o planejamento e análise de operações. Além disso, há um benefício relacionado à grande quantidade de dados estruturais que podem ser obtidos e processados ao mesmo tempo, o que aumenta a confiabilidade das interpretações. (NAGALI, 2010).

4.2.6 Drones com ecobatímetro

Além dos avanços mencionados, uma tendência emergente na aplicação de drones na topografia é o uso de drones aquáticos e subaquáticos (conforme a figura 07) em minas alagadas, barragens, reservatórios e demais áreas que envolvem corpos hídricos. Esses drones estão equipados com sensores acústicos e de imagem que permitem a criação de mapas detalhados do fundo de corpos d'água, o que seria extremamente difícil ou perigoso com métodos tradicionais. Essa forma de utilização de drones subaquáticos está ampliando as possibilidades de exploração e monitoramento em ambientes antes inacessíveis.

Com sensores de imagem e acústicos, esses drones possibilitam a criação de mapas detalhados de áreas submersas, expandindo as possibilidades de monitoramento em ambientes de difícil acesso.

Figura 07 – Drone aquático equipado com ecobatímetro CHC APACHE 3



Fonte: CPE (2022)

4.2.7 Legislação

Em termos de regulamentação, a questão do uso de drones na mineração também está em constante evolução. Além da ANAC e DECEA, em muitos países, agências ambientais e órgãos responsáveis pela segurança no trabalho estão estabelecendo normas que visam garantir que os drones sejam operados de maneira segura e responsável.

Conforme descrito no Art. 3º do Decreto-Lei Nº 1.177, de 21 de Junho de 1971, aerolevanteamento é:

“o conjunto das operações aéreas e/ou espaciais de medição, computação e registro de dados do terreno com o emprego de sensores e/ou equipamentos adequados, bem como a interpretação dos dados levantados ou sua tradução sob qualquer forma”.

Da mesma forma, em conformidade com a Resolução ANAC Nº 659, de 3 de fevereiro de 2022, que regulamenta os Serviços Aéreos Públicos, em seu Anexo, no item 1.2.6, aerolevanteamento é:

“o conjunto de operações para obtenção de informações de parte terrestre, aérea ou marítima do território nacional, por meio de sensor instalado em plataforma aérea, complementadas pelo registro e

análise dos dados colhidos, utilizando recursos da própria plataforma ou estação localizada à distância”, e compreende as operações de aeroprospecção e aerofotogrametria, que são Serviços Aéreos Públicos Especializados em aerolevanteamento (SAE-AL).

Conforme a legislação vigente, só poderão executar aerolevanteamento as entidades nacionais inscritas e regularizadas no Ministério da Defesa (Art. 6º do Decreto-Lei Nº 1.177, de 21 de Junho de 1971) e somente podem realizar serviços da fase aeroespacial quando autorizadas.

Essas regulamentações não apenas envolvem a operação dos drones em si, mas também a proteção dos dados capturados, especialmente em áreas industriais sensíveis. A questão da privacidade e a segurança dos dados obtidos por drones são preocupações crescentes, e as empresas precisam garantir que suas operações atendam a todas as exigências legais e de conformidade.

Apesar desses avanços, a utilização generalizada de drones na mineração enfrenta desafios legais e operacionais. No Brasil, as normas de segurança e a regulamentação do espaço aéreo criadas por órgãos como a ANAC e o DECEA ainda são um obstáculo para as pequenas e médias mineradoras, que podem não ter os recursos ou a experiência necessários para passar por esses processos. Além disso, a rápida evolução tecnológica exige que as empresas de mineração estejam constantemente atualizando seus equipamentos e capacitando seus profissionais para garantir que possam tirar proveito máximo das inovações.

5. ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE MÉTODOS CONVENCIONAIS E O USO DE DRONES

A adoção de drones no levantamento topográfico para mineração representa uma ruptura significativa com os métodos tradicionais, destacando avanços em eficiência, segurança e custos. Enquanto os métodos convencionais, como o uso de estações totais e GNSS, oferecem alta precisão, eles apresentam limitações quanto à velocidade de operação e segurança, pois exigem a presença física de trabalhadores em campo por longos períodos, aumentando a exposição a riscos e elevando os custos operacionais devido à logística e ao tempo de trabalho. A seguir, é apresentada uma análise comparativa detalhada entre esses métodos e o uso de drones, considerando aspectos como eficiência, custo, precisão e segurança.

5.1 Tempo e Eficiência

Os métodos convencionais, como o uso de estações totais e GNSS-RTK, frequentemente demandam maior tempo para conclusão devido à necessidade de presença constante de profissionais em campo. Isso aumenta tanto os riscos associados às operações quanto o tempo necessário para coleta de dados. Além disso, é comum que esses métodos demandam o transporte e configuração de equipamentos em áreas de difícil acesso, o que compromete a agilidade na obtenção das informações.

Em contrapartida, os drones podem cobrir grandes áreas em um curto período, dispensando a presença física de topógrafos em cada ponto de medição. Estudos apontam que o uso de drones reduz o tempo de levantamento em até 60% (MERRETT, 2023), graças à possibilidade de programar voos autônomos para cobrir áreas extensas com eficiência. Por exemplo, uma área de lavra que levaria dias para ser mapeada com métodos convencionais pode ser levantada em poucas horas utilizando drones.

5.2 Custo

Sob o ponto de vista econômico, a utilização de drones apresenta vantagens consideráveis. Apesar do investimento inicial elevado em equipamentos e capacitação de pessoal, os benefícios financeiros a longo prazo compensam esse custo inicial. Por exemplo, o uso de drones reduz a necessidade de grandes equipes em campo e minimiza gastos logísticos, como transporte e manutenção de equipamentos pesados.

Conforme Coelho et al. (2019), o levantamento fotogramétrico se mostrou mais viável em relação às variáveis tempo e custo. Isso ocorre pois o uso de drones reduz a necessidade de contratação de grandes equipes de levantamento e minimiza os gastos com logística, já que os drones conseguem cobrir grandes áreas em menor tempo.

A utilização de drones oferece uma redução significativa nos custos operacionais em comparação com os métodos tradicionais. Segundo estudos, o uso de drones

minimiza a necessidade de contratação de grandes equipes de levantamento e reduz os custos logísticos, uma vez que não exige o transporte de equipamentos pesados e a mobilização de grandes equipes em campo (Coelho et al., 2019). Além disso, drones permitem que as empresas mineradoras realizem levantamentos com mais frequência, possibilitando monitoramentos semanais ou mensais sem aumentar significativamente os custos.

Outra vantagem econômica dos drones é a possibilidade de detecção precoce de problemas. A frequência dos levantamentos permite que gestores de mineração identifiquem eventuais falhas em infraestrutura, como rachaduras em barragens ou movimentações de solo que poderiam levar a deslizamentos. Isso evita despesas significativas associadas a reparos emergenciais e prejuízos por paralisação de atividades.

A longo prazo, a manutenção dos drones tende a ser menos onerosa do que a dos equipamentos convencionais, como estações totais e receptores GNSS, que exigem calibração frequente e podem sofrer danos devido ao transporte constante em terrenos acidentados. Dessa forma, os drones oferecem uma solução mais econômica para operações contínuas e de longo prazo.

5.3 Precisão e volume de dados

Os drones equipados com sensores LiDAR e câmeras de alta resolução oferecem uma precisão comparável ou superior aos métodos convencionais, particularmente em áreas amplas e de difícil acesso. Por exemplo, uma mina a céu aberto pode ser mapeada com uma densidade de pontos significativamente maior por drones com LiDAR do que por métodos manuais, permitindo a criação de modelos digitais de terreno (MDT) detalhados e altamente precisos.

Além disso, a coleta de dados por drones permite uma densidade de pontos muito maior do que medições feitas manualmente com estações totais, resultando em dados mais ricos e detalhados que favorecem uma análise geológica aprofundada e a modelagem de cenários complexos de exploração. A precisão obtida com drones varia conforme o tipo de sensor, sendo que o LiDAR oferece maior densidade de

pontos e detalhamento das características do terreno, aspectos cruciais para cálculos volumétricos e para a definição de áreas de risco, essenciais na mineração.

Mesmo com o surgimento de tecnologias modernas, os métodos convencionais ainda são valorizados em situações que exigem máxima precisão. No caso dos monitoramentos de barragens e estruturas, bem como acompanhamento e locação de obras civis e de infraestrutura, os métodos tradicionais possuem uma precisão e aplicação mais assertiva do que os drones. À medida que a mineração adota métodos mais ágeis, as técnicas tradicionais são frequentemente complementadas por tecnologias avançadas, criando oportunidades de inovação e exigindo que os profissionais se atualizem.

5.4 Segurança e Sustentabilidade

A segurança é uma das maiores vantagens no uso de drones para levantamentos topográficos. Ao contrário dos métodos tradicionais, que exigem que profissionais estejam fisicamente presentes em áreas de risco, como frentes de lavra ou taludes instáveis, os drones permitem o monitoramento remoto dessas regiões. Isso reduz significativamente a exposição de trabalhadores a situações perigosas, promovendo um ambiente de trabalho mais seguro. (FEITAL, 2017).

Os métodos tradicionais apresentam desvantagens, especialmente em termos de tempo e segurança. Levantamentos com estações totais exigem equipes em campo por longos períodos, elevando os riscos, já que operações de mineração ocorrem em terrenos acidentados e sujeitos a condições climáticas extremas. Esse processo pode se tornar um desafio logístico e financeiro, sobretudo em minas de grande porte, que demandam atualizações anuais de plantas conforme a NRM 17, artigo 14 (BRASIL, 2001).

Além de promover a segurança, o uso de drones contribui para a sustentabilidade nas operações de mineração, pois reduz a pegada ambiental ao eliminar a necessidade de transporte e instalação de grandes estruturas de medição. Como os drones realizam medições sem intervenções físicas, o impacto no solo e na vegetação é minimizado, favorecendo uma abordagem menos invasiva. A possibilidade de monitoramento frequente por drones também facilita o controle de

erosões e o monitoramento do solo, permitindo ações mais eficazes na recuperação ambiental de áreas degradadas, contribuindo para uma mineração mais responsável e ambientalmente consciente.

6. IMPLICAÇÕES ECONÔMICAS E OPERACIONAIS DO USO DE DRONES NA MINERAÇÃO

A adoção de drones na mineração oferece benefícios significativos em termos econômicos e operacionais. Uma das principais vantagens é a redução dos custos operacionais ao longo do tempo. Embora o investimento inicial em drones e treinamento de operadores seja elevado, os ganhos em termos de tempo, recursos humanos e segurança superam amplamente os custos iniciais, justificando a implementação dessa tecnologia (MERRETT, 2023).

Do ponto de vista operacional, os drones possibilitam um monitoramento contínuo das operações, com coleta de dados em tempo real, proporcionando maior flexibilidade para ajustes nas estratégias de mineração e no planejamento de curto e longo prazo. Em operações de mineração que se estendem por décadas, essa capacidade é essencial para o gerenciamento eficiente dos recursos.

Outro impacto relevante dos drones é a melhoria na segurança das operações, já que sua capacidade de realizar levantamentos de forma remota reduz a necessidade de exposição dos trabalhadores a áreas perigosas. O monitoramento frequente permite, ainda, uma resposta rápida a mudanças no terreno, o que contribui para a prevenção de acidentes e danos ambientais.

Sob a perspectiva ambiental, o uso de drones contribui para a sustentabilidade das operações mineradoras, facilitando o monitoramento contínuo do impacto ambiental das atividades e permitindo a implementação de medidas corretivas de forma rápida e eficaz. Este benefício torna-se ainda mais relevante no contexto atual, onde a sustentabilidade e a responsabilidade ambiental são determinantes para a aceitação e viabilidade de projetos no setor.

Tradicionalmente, os levantamentos topográficos na mineração dependem de técnicas manuais, como estações totais e GPS de alta precisão, que exigem tempo

considerável da equipe em campo para cobrir grandes áreas. Com o uso de drones, é possível fornecer resultados mais ágeis e de alta qualidade, produzindo dados detalhados e aumentando a produtividade (NETO; RAMOS, 2023).

Essas abordagens tradicionais podem ser limitadas pela topografia complexa e por condições climáticas adversas, enquanto o uso de drones acelera a coleta de dados, cobrindo grandes extensões em um curto período e gerando informações detalhadas. Em uma mineradora, por exemplo, uma equipe convencional pode levar dias para mapear uma área significativa, enquanto um drone realiza o mesmo trabalho em poucas horas, com maior densidade de pontos e precisão.

Com o avanço tecnológico, torna-se possível mapear vastas áreas sem a necessidade de mobilizar um grande número de profissionais, diminuindo o tempo de coleta e simplificando o acesso a informações em áreas remotas (LUCIEER et al., 2012). No entanto, vale ressaltar que a adoção de drones não substitui completamente os métodos tradicionais, mas os complementa, permitindo um fluxo de trabalho mais eficiente e dinâmico.

Os benefícios trazidos pelos drones vão além da agilidade e precisão. Eles melhoram a qualidade das decisões estratégicas, permitindo um levantamento de áreas mineradas com mais informações sobre o relevo, volumes e mudanças ao longo do tempo. Segundo Chiminelli et al. (2023), a engenharia exige exatidão e inovação contínua, e o uso de drones para levantamento topográfico tem transformado a execução dos projetos. Com dados detalhados, os drones possibilitam análises robustas e contínuas, permitindo ajustes em tempo real no planejamento e na execução das operações de mineração. A capacidade de gerar ortomosaicos e mapas tridimensionais favorece ainda a conformidade com regulamentações ambientais e de segurança.

Por fim, o impacto mais amplo do uso de drones na mineração se reflete na transformação da indústria como um todo. Reduzindo os custos operacionais e aumentando a eficiência, os drones estão impulsionando a adoção de tecnologias de automação e digitalização nas minas. Como as operações frequentemente estão situadas em áreas isoladas, a automação contribui para um uso mais eficiente dos recursos, moldando um novo paradigma na mineração. A longo prazo, o uso de

drones pode contribuir para o desenvolvimento de práticas minerárias mais sustentáveis e seguras, minimizando o impacto ambiental e otimizando o uso de recursos. Contudo, essa transformação exige que profissionais da topografia e da mineração adquiram novas competências e se adaptem às mudanças tecnológicas.

7. DESAFIOS E LIMITAÇÕES NA IMPLEMENTAÇÃO DE DRONES

Embora os drones ofereçam uma série de benefícios à mineração, sua implementação ainda enfrenta desafios técnicos e regulatórios. No Brasil, a utilização de drones na mineração está sujeita à regulamentação da ANAC (Agência Nacional de Aviação Civil) e do DECEA (Departamento de Controle do Espaço Aéreo), que impõem restrições específicas quanto ao uso em áreas industriais e a necessidade de licenciamento para operar em espaços aéreos controlados.

Por exemplo, a ANAC exige que todas as operações de drones em áreas mineradoras sejam realizadas com autorização prévia e dentro das condições estabelecidas, como limites de altura e áreas de voo restritas.

As mineradoras, principalmente as de pequeno e médio porte, enfrentam dificuldades para cumprir essas regulamentações, uma vez que exigem licenças e infraestrutura adequada para a operação dos drones. Além disso, as normas de segurança para proteção de dados capturados por drones representam outro obstáculo, pois o sigilo e a proteção de informações sensíveis são requisitos fundamentais em áreas industriais. Essas exigências legais podem tornar a implementação de drones um processo complexo e custoso, especialmente para empresas que não dispõem de recursos ou expertise em tecnologia. Portanto, o cumprimento das regulamentações é uma das principais barreiras para a ampla adoção dos drones na mineração.

Os drones enfrentam limitações técnicas, por estarem expostos a condições adversas em minas a céu aberto e subterrâneas, como poeira, umidade e interferências magnéticas, que podem impactar o funcionamento dos equipamentos e exigir manutenção frequente. Investimentos em drones mais robustos e com maior resistência a condições extremas são necessários para mitigar esses problemas, mas isso também aumenta o custo operacional.

A manutenção regular dos drones é fundamental para garantir a segurança e o desempenho adequado durante as operações. Isso inclui a inspeção periódica de componentes como baterias, motores, hélices e sistemas eletrônicos, prevenindo falhas que podem comprometer a missão e causar acidentes. A correta manutenção também prolonga a vida útil dos drones e reduz os custos operacionais a longo prazo, especialmente em aplicações industriais e mineradoras (NETO; BREUNIG, 2019).

Adicionalmente, a autonomia dos drones continua sendo um problema, atualmente muitos drones disponíveis no mercado têm um tempo de voo limitado, geralmente entre 20 e 60 minutos, o que pode ser insuficiente para cobrir áreas extensas em um único voo. Em ambientes de mineração, que muitas vezes exigem o mapeamento de grandes áreas e a coleta contínua de dados, essa limitação impõe a necessidade de múltiplos voos e interrupções frequentes para troca de baterias, o que pode comprometer a eficiência das operações.

A autonomia da bateria dos drones depende de quão rápido ela pode fornecer energia. Por exemplo, uma bateria comum pode durar cerca de uma hora, mas algumas mais avançadas conseguem fornecer energia mais rapidamente, permitindo que o drone tenha mais potência em menos tempo. Isso é importante em operações de mineração que exigem drones com maior eficiência e desempenho, conforme pontua Rigo (2022).

Por fim, o uso de drones na mineração exige profissionais qualificados para operá-los e interpretar os dados capturados. A capacitação da equipe é essencial para garantir que os drones sejam utilizados de forma eficiente e que os dados sejam corretamente integrados aos sistemas de planejamento e monitoramento. Empresas mineradoras precisam investir em treinamento especializado e atualizações contínuas para acompanhar as inovações tecnológicas e tirar proveito máximo das funcionalidades oferecidas pelos drones.

CONCLUSÃO

A utilização de drones na topografia para mineração mostrou-se uma ferramenta promissora e eficaz para otimizar o planejamento, o monitoramento e a gestão de operações no setor minerário.

Ao longo deste trabalho, ficou evidente que os drones, equipados com sensores de alta precisão, como câmeras de alta resolução e sensores LiDAR, têm transformado o modo como as empresas mineradoras realizam levantamentos topográficos, permitindo maior eficiência, segurança e redução de custos operacionais.

Entre os principais benefícios observados, destaca-se a agilidade dos drones na coleta de dados geoespaciais, que supera os métodos convencionais de levantamento. Em um cenário onde decisões precisam ser tomadas de forma rápida e baseada em dados confiáveis, a capacidade dos drones de capturar grandes quantidades de informações em curto período é essencial para melhorar a tomada de decisões estratégicas e a gestão de recursos nas atividades minerárias.

Foi observado também que a automação de processos proporcionada pelos drones permite que as empresas mineradoras realizem levantamentos de áreas extensas e de difícil acesso, sem expor seus trabalhadores a riscos, o que se traduz em um ganho significativo para a segurança no trabalho.

Outro ponto relevante é a redução de custos proporcionada pelo uso de drones. Embora o investimento inicial em equipamentos e treinamento de pessoal seja necessário, os custos operacionais a longo prazo tendem a ser menores em comparação aos métodos tradicionais. Isso ocorre porque os drones reduzem a necessidade de equipes numerosas em campo, diminuem o tempo necessário para a coleta de dados e facilitam a execução de levantamentos frequentes, que podem ser realizados periodicamente com menor impacto financeiro. Essa característica se alinha às necessidades de sustentabilidade e competitividade das operações mineradoras.

Por outro lado, a implementação de drones na mineração ainda enfrenta desafios. A regulamentação de voos, especialmente em áreas controladas e próximas a operações industriais, requer o cumprimento de normas específicas da ANAC e

DECEA, o que pode limitar a adoção de drones por empresas de menor porte que não possuem infraestrutura ou conhecimento técnico para lidar com as exigências legais. Além disso, limitações de autonomia de voo e a necessidade de manutenção regular em ambientes hostis são fatores que ainda demandam melhorias tecnológicas para que a operação de drones seja totalmente otimizada.

Portanto, conclui-se que o uso de drones na mineração representa uma inovação significativa e um avanço indispensável para o setor. No entanto, para que essa tecnologia seja amplamente adotada e utilizada de forma eficaz, é necessário que o setor industrial e regulatório trabalhe em conjunto para desenvolver soluções que permitam uma regulamentação mais acessível e que promovam o avanço tecnológico dos equipamentos de forma a atender às demandas da mineração moderna.

Em resumo, a incorporação de drones na topografia mineradora não apenas aprimora a precisão dos levantamentos, mas também proporciona ganhos de produtividade, segurança e sustentabilidade, transformando a mineração em uma atividade cada vez mais eficiente e alinhada com as práticas de responsabilidade social e ambiental. Assim, a pesquisa realizada neste trabalho contribui para a compreensão dos impactos positivos e desafios dessa tecnologia, incentivando novas pesquisas e o desenvolvimento de soluções que facilitem a implementação e o avanço do uso de drones na mineração brasileira e global.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13133: Execução de levantamento topográfico**. Rio de Janeiro, 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL. Resolução nº 659, de 2 de fevereiro de 2022. **Regulamenta a exploração de serviços aéreos por empresas brasileiras e dá outras providências**. Diário Oficial da União, Brasília, DF. Disponível em: <<https://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/resolucoes/2022/resolucao-659>>. Acesso em: 08 out. 2024.

BILHALVA, Wagner Danton de Bittencourt. **Batimetria de pequenos reservatórios através de metodologia convencional e alternativa**. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2013. Disponível em: <<https://repositorio.ufsm.br/handle/1/9575>>. Acesso em: 02 out. 2024.

BRASIL. Decreto-Lei nº 1.177, de 21 de junho de 1971. **Dispõe sobre aerolevanteamento no território nacional, e dá outras providências**. Diário Oficial da União, Brasília, DF. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto-lei/1965-1988/del1177.htm>. Acesso em: 19 out. 2024.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Normas Reguladoras de Mineração (NRM)**. Portaria n.º 237, de 18 de outubro de 2001. Disponível em: <https://www.dnpm-pe.gov.br/Legisla/nrm_17.htm>. Acesso em: 06 set. 2024.

CHIMINELLI, Pamela; PREUSS, Max Bezerra; FARIA, Michela Steluti Poleti. **Estudo de caso: análise do uso de drone em levantamentos topográficos na engenharia civil na cidade de Biguaçu-SC**. Joinville, SC: Centro Universitário UNISOCIESC, 2023. Disponível em: <<https://repositorio-api.animaeducacao.com.br/server/api/core/bitstreams/c4fe6907-3c08-4c3b-8b3f-b3983df7cde5/content>>. Acesso em: 18 out. 2024.

COELHO, Luiz Carlos Teixeira; BRITO, Jorge Luís Nunes e Silva. **Fotogrametria digital**. Instituto Militar de Engenharia. Rio de Janeiro, 2007. 196 p.

COELHO, Marina de Oliveira; MARTINS, George Deroco; GALLIS, Rodrigo de Araújo Bezerra. **Quantificação do volume de minérios em pilha a partir da integração e comparação topografia/fotogrametria**. Anuário do Instituto de Geociências, v. 42, n. 1, 2019. Disponível em: <<https://ppegeo.igc.usp.br/portal/wp-content/uploads/tainacan-items/1974/65143/13137-17447-1-SM.pdf>>. Acesso em: 05 out. 2024.

CPE TECNOLOGIA. Apache 3: **tudo sobre o drone aquático para batimetria**. Disponível em: <<https://blog.cpetecnologia.com.br/drones-aquaticos-apache-3/>>. Acesso em: 23 set. 2024.

CPE TECNOLOGIA. **Ecobatímetro: revolução submersa para empresas de topografia.** Disponível em: <<https://blog.cpetecnologia.com.br/ecobatimetro-revolucao-submersa-para-empresas-de-topografia/>>. Acesso em: 23 set. 2024.

CPE TECNOLOGIA. **GNSS: você sabe quando utilizar?** 2019. Disponível em: <<https://blog.cpetecnologia.com.br/gnss-voce-sabe-quando-utilizar/>>. Acesso em: 19 out. 2024.

CPE TECNOLOGIA. **Principais tipos de equipamentos topográficos e suas funções.** Disponível em: <<https://blog.cpetecnologia.com.br/tipos-de-equipamentos-topograficos-e-suas-funcoes/>>. Acesso em: 23 set. 2024.

DE DEUS, Bell Rodrigo Brito da Silva. **Mapeamento 3D com drone para suporte ao BIM aplicado à arquitetura.** 2017. 84 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/186536>>. Acesso em: 05 out. 2024.

FAIX, Matheus de Cristo. **Relevância do levantamento topográfico nas obras de engenharia.** 2022. 31 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Faculdade Educacional de Ponta Grossa – UNOPAR, Ponta Grossa, 2022. Disponível em: <https://repositorio.pgsscogna.com.br/bitstream/123456789/50832/1/MATHEUS_DE_CRISTO_FAIX.pdf>. Acesso em: 20 out. 2024.

FEITAL, Marcelo Rosa. **Uso de VANT (Veículo Aéreo não Tripulado) para inspeção de projetos de construção civil.** Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Juiz de Fora, 2017. Disponível em: <<https://pmkb.com.br/uploads/tcc-marcelo-rosa-feital.pdf>>. Acesso em: 05 out. 2024.

FERREIRA, Rafael dos Santos. **Estudo comparativo entre os métodos de levantamento fotogramétrico (VANT) e o topográfico (estação total) para cálculo de volume em uma mineração.** Monografia (Graduação em Engenharia de Agrimensura) – Universidade Federal de Alagoas, Centro de Ciências Agrárias, Rio Largo, 2019. Disponível em: <<https://www.repositorio.ufal.br/handle/riufal/5956>>. Acesso em: 18 out. 2024.

GOMES, Jorge Pinto; VEIGA, Luis Augusto Koenig; SANTOS, Daniel Perozzo dos; FAGGION, Pedro Luis. **Determinação de desníveis de precisão com nivelamento trigonométrico utilizando estação total.** Boletim de Ciências Geodésicas, v. 13, n. 1, p. 127-150, 2007. Disponível em: <<https://www.redalyc.org/pdf/3939/393937701008.pdf>>. Acesso em: 18 out. 2024.

GONÇALVES, Aline Kuramoto; DENADAI, Marcelo Scantamburlo. **O Uso do Sensoriamento Remoto por VANT para o Agronegócio.** Botucatu, 2019. Disponível em: <<http://www.jornacitec.fatecbt.edu.br/index.php/VIIIJTC/VIIIJTC/paper/viewFile/2104/2315>>. Acesso em 11 nov. 2024.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS (RBMC)**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-geocientificas/posicionamento-geodesico/21538-rede-brasileira-de-monitoramento-continuo-dos-sistemas-gnss-rbmc.html>>. Acesso em: 19 out. 2024.

IBRAM - Instituto Brasileiro de Mineração. **Relatório Anual de Produção e Desempenho do Setor de Mineração no Brasil 2023**. Brasília: IBRAM, 2023. Disponível em: <<https://www.ibram.org.br/relatorios-de-atividades>>. Acesso em: 25 ago. 2024.

INSTITUTO MINERE. **Como a internet das coisas industrial está mudando a indústria de mineração**. Instituto Minere, 25 de maio de 2019. Disponível em: <<https://www.institutominere.com.br/blog/como-a-internet-das-coisas-industrial-esta-mudando-a-industria-de-mineracao>>. Acesso em: 25 ago. 2024.

LUCIEER, Arko; ROBINSON, Sharon; TURNER, Darren; HARWIN, Steve; KELCEY, Josh. **Using a micro-UAV for ultra-high resolution multi-sensor observations of Antarctic moss beds**. International Archives of the Photogrammetry. Remote Sensing and Spatial Information Sciences, v. 39, n. B1, 2012. Disponível em: <<https://isprs-archives.copernicus.org/articles/XXXIX-B1/429/2012>>. Acesso em: 05 out. 2024.

LOCH, Carlos; CORDINI, Jucilei. **Topografia contemporânea: planimetria**. Florianópolis: Editora UFSC, 1995.

MENDES, Fernando Lúcio. **Emprego de drones por órgãos públicos: proposta de adoção de sistema integrado para gestão e operações com aeronaves não tripuladas**. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Araranguá, Programa de Pós-Graduação em Tecnologias da Informação e Comunicação, Araranguá, 2019. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/214609>>. Acesso em: 05 out. 2024.

MERRETT, Peter. **What Are Mining Surveys & How Are They Performed?**. Merrett Survey, 9 fev. 2023. Disponível em: <<https://merrettsurvey.com/news/what-are-mining-surveys>>. Acesso em: 4 nov. 2024.

MONICO, João Francisco Galera. **Posicionamento pelo GNSS: descrição, fundamento e aplicações** (2 ed.). São Paulo: Unesp. (2008).

NETO, Rafael Jeronimo de Almeida; RAMOS, Angélica Paiva. **Mapeamento de superfícies topográficas com uso de drones e técnicas de aerofotogrametria**. RECIMA21: Revista Científica Multidisciplinar, v. 4, n. 5, 2023. Disponível em: <<https://recima21.com.br/index.php/recima21/article/view/3157/2297>>. Acesso em: 05 out. 2024.

NETO, Rorai Pereira Martins; BREUNIG, Fábio Marcelo. **Drones e Ciência: Teoria e aplicações metodológicas**. Santa Maria: FACOS-UFSM, 2019, p. 68. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Fabio-Breunig/publication/332911581_DRONES_E_CIENCIA_Teoria_e_aplicacoes_metod>

ologicas/links/5cd1c2d0458515712e98a76b/DRONES-E-CIENCIA-Teoria-e-aplicacoes-metodologicas.pdf#page=68>. Acesso em: 05 out. 2024.

RIGO, Regis Grotto. **Desenvolvimento de sistema de monitoramento do estado de carga de baterias para uso em drones**. 2022. Disponível em: <<https://repositorio.ucs.br/xmlui/handle/11338/11152;jsessionid=8FCEC791912D44EB61188C8A5C3792EA>>. Acesso em: 05 out. 2024.

ROSA, Roberto. **Geotecnologias na Geografia Aplicada**. Revista do Departamento de Geografia. São Paulo, v. 6, p. 81- 90, 2005. Disponível em: <<https://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/47288/51024>>. Acesso em: 18 out. 2024.

SOARES, Gustavo Barbosa; SILVA, Herbert Souza; MATA, Jônatas Franco Campos da. **Revisão acerca da utilização de aeronaves remotamente pilotadas (RPA) na indústria da mineração**. Revista Foco, v. 17, n. 8, 2024. Disponível em: <<https://ojs.focopublicacoes.com.br/foco/article/view/6015/4346>> Acesso em: 18 out. 2024.

TULER, Marcelo; SARAIVA, Sérgio. **Fundamentos de Topografia**. Bookman Editora, 2014.

WEGEN, Wim van. **Surveying in the Mining Sector: An Overview of Geospatial Methods in Mining Engineering**. GIM International, 12 jan. 2018. Disponível em: <<https://www.gim-international.com/content/article/surveying-in-the-mining-sector>>. Acesso em: 4 nov. 2024.

YELLOWSCAN. **LiDAR for drones: everything you need to know about LiDARs on UAVs**. 1. ed. 2023. Disponível em: <<https://www.yellowscan.com/knowledge/lidar-drone/>> . Acesso em: 19 out. 2024.