

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MINAS
Curso de Especialização em Engenharia de Recursos Minerais

Gabriele Santiago Borges

**AVALIAÇÃO DA APLICABILIDADE DOS PRODUTOS GERADOS POR DRONE
COMO SUPORTE À PROSPECÇÃO E EXPLORAÇÃO MINERAL EM UMA
SEÇÃO A-B NA REGIÃO DE NOVA LIMA – MINAS GERAIS**

Belo Horizonte

2024

Gabriele Santiago Borges

**AVALIAÇÃO DA APLICABILIDADE DOS PRODUTOS GERADOS POR DRONE
COMO SUPORTE À PROSPECÇÃO E EXPLORAÇÃO MINERAL EM UMA
SEÇÃO A-B NA REGIÃO DE NOVA LIMA – MINAS GERAIS**

Artigo apresentado ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Minas da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) como requisito para obtenção do título de Especialista em Engenharia de Recursos Minerais.

Orientador: Professor Dr. Danilo Marques de Magalhães

Belo Horizonte

2024



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

CURSO DE ENGENHARIA DE RECURSOS MINERAIS

UFMG

ATA DA DEFESA DO ARTIGO DA ALUNA GABRIELE SANTIAGO BORGES

Realizou-se, no dia 16 de setembro de 2022, às 10:00 horas, na Plataforma TEAMS, da Universidade Federal de Minas Gerais, a defesa do Artigo, intitulado "AVALIAÇÃO DA APLICABILIDADE DOS PRODUTOS GERADOS POR DRONE COMO SUPORTE À PESQUISA E PROSPECÇÃO MINERAL EM UMA SEÇÃO A-B NA REGIÃO DE NOVA LIMA – MINAS GERAIS" apresentada pela aluna GABRIELE SANTIAGO BORGES, número de registro 2020720005, graduada no curso de GEOLOGIA, como requisito parcial para a obtenção do certificado de Especialista em ENGENHARIA DE RECURSOS MINERAIS, à seguinte Comissão Examinadora: Prof. Danilo Marques de Magalhães - Orientador, Profa. Viviane da Silva Borges Barbosa (Universidade Federal de Minas Gerais), Prof. Pedro Benedito Casagrande (Universidade Federal de Minas Gerais), Prof. Marcelino Amando da Silva Gomes (Universidade Federal de Minas Gerais)

A Comissão considerou a defesa do artigo:

(x) Aprovada

() Reprovada

Nota: 85

Finalizados os trabalhos, lavrei a presente ata que, lida e aprovada, vai assinada por mim e pelos membros da Comissão.

Belo Horizonte, 16 de setembro de 2022.

Documento assinado digitalmente
gov.br DANILO MARQUES DE MAGALHAES
Data: 16/09/2022 12:12:44-0300
Verifique em <https://verificador.it.br>

Prof. Danilo Marques de Magalhães (Doutor)

Profa. Viviane da Silva Borges Barbosa (Doutora)

Universidade Federal de Minas Gerais
Professora do Departamento de
Engenharia de Minas/UFMG

Documento assinado digitalmente,
gov.br PEDRO BENEDITO CASAGRANDE
Data: 16/09/2022 14:53:34-0300
Verifique em <https://verificador.it.br>

Prof. Pedro Benedito Casagrande (Doutor)

Documento assinado digitalmente
gov.br MARCELINO AMANDO DA SILVA GOMES
Data: 16/09/2022 15:29:22-0300
Verifique em <https://verificador.it.br>

Prof. Marcelino Amando da Silva Gomes (Mestre,

Risid Magnóti Papini
Coordenadora do Curso de Especialização
em Engenharia de Recursos Minerais

Resumo

As Aeronaves Remotamente Pilotadas RPAs (do inglês *Remotely Piloted Aircraft* – RPA), popularmente conhecidas como drones, têm sido amplamente utilizadas na mineração, devido à busca por inovações tecnológicas em meio ao cenário que exige otimização do desempenho operacional, eficiência e custos mais baixos. Buscando entender como as RPAs podem auxiliar na realização de estudos na prospecção e exploração mineral, o presente trabalho utilizou essa ferramenta para realizar um aerolevanteamento em um polígono inserido no contexto geológico do Quadrilátero Ferrífero, no Grupo Nova Lima, Minas Gerais. A partir desse aerolevanteamento, obteve-se Ortomosaico, Modelo Digital de Terreno (MDT), Modelo Digital de Superfície (MDS), e Modelo 3D Texturizado. Os resultados permitiram identificar as principais feições geológicas e geomorfológicas, avaliar os produtos gerados por um drone de linha consumidor e comparar os produtos gerados com os dados preexistentes da região, verificando os ganhos em relação aos processos de prospecção e exploração mineral utilizando essa ferramenta. A RPA mostrou-se como uma ferramenta auxiliar aos trabalhos de prospecção e exploração mineral com eficiência e custos competitivos em relação aos levantamentos convencionais de campo.

Palavras-chave: Drones; RPA; Prospecção e exploração mineral; Aerolevanteamento.

Abstract

RPA (Remotely Piloted Aircraft - RPA), popularly known as drones, have been widely used in mining, due to the search for technological innovations in the midst of a scenario that requires optimization of operational performance, efficiency and lower costs. Seeking to understand how RPAs can help in carrying out studies in mineral prospecting and exploration, the present work used this tool to carry out an aerial survey in an polygon inserted in the geological context of the Quadrilátero Ferrífero, in the Grupo Nova Lima, Minas Gerais. From this aerial survey, Orthomosaic, Digital Terrain Model (MDT), Digital Surface Model (MDS) and 3D Textured Model were obtained. The results made it possible to identify the main geological and geomorphological features, to evaluate the products generated by a drone of the consumer line and to compare the products generated with the preexisting data of the region, verifying the gains in relation to the processes of mineral prospecting and exploration using this tool. The RPA proved to be an auxiliary tool for mineral prospecting and exploration work with efficiency and competitive costs in relation to conventional surveys.

Keywords: Drones; RPA; Mineral prospecting and exploration; Aerial Survey.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	7
2	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	8
3	MATERIAIS E METODOLOGIA	11
	3.1 Plano de Voo	11
	3.2 Trabalho de Campo – Aquisição do Aerolevanteamento	11
	3.3 Processamento das Imagens Obtidas pelo drone	12
	3.3.1 Alinhamento das Imagens.....	13
	3.3.2 Nuvem de Pontos Esparsa e Conversão do Datum.....	13
	3.3.3 Nuvem de Pontos Densa	13
	3.3.4 Classificação da Nuvem de Pontos	14
	3.3.5 Construção da malha do modelo 3D e suavização	14
	3.3.6 Construção do MDT, extração das curvas de níveis e Ortoretificação (Geração do Ortomosaico com base no MDT).....	15
	3.3.7 Construção do MDS.....	15
	3.3.8 Cálculo de estruturas de interesse	16
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	16
	4.1 Análise Comparativa: Imagem de Satélite x Drone	17
	4.2 Topografia da Área de Estudo	17
	4.3 Avaliação das Feições Geológicas, Geomorfológicas e Pedológicas.....	18
	4.4 Delimitação e Mensuração de um Possível Prospecto Mineral	22
	4.5 Cálculos em Estruturas de Interesse utilizando o Agisoft.....	23
5	CONCLUSÃO	24
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	25

1 INTRODUÇÃO

A prospecção mineral é a primeira fase da mineração e é utilizada para planejar os trabalhos para a descoberta de um depósito mineral e, também, programar e executar os serviços de quantificação e qualificação das reservas encontradas nesse depósito. Esses serviços compreendem entre outros, a seleção da área a ser detalhada, a definição da equipe e maquinário necessários, a realização dos serviços exploratórios e de detalhamento, de sondagem e abertura de trincheiras, a coleta de amostras representativas e a verificação da viabilidade da lavra do depósito encontrado com base nas reservas delimitadas. [1]

Diante de um cenário de grande competitividade, as empresas do setor minerário com maior aporte financeiro para aplicação em recursos tecnológicos, se sobressaem poupando em cada etapa tempo, trabalho e recursos. Durante a etapa de prospecção, visando atingir esses objetivos, o prospector deve escolher os meios técnicos mais eficazes em relação à sua área de interesse. Uma das tecnologias mais recentes é a Aeronave Remotamente Pilotada RPA (do inglês *Remotely Piloted Aircraft – RPA*), popularmente conhecida como drone.

Os drones são aeronaves dotadas de equipamentos eletrônicos como câmeras de alta resolução, radar e sensores para diversas aplicações, classificados com base na autonomia, peso, tamanho, fonte de energia e tipo de asas (fixas, rotativas e mistas). Drones de asas rotativas são mais utilizados em voos curtos e/ou muito próximos aos alvos de estudo, com muitas manobras e velocidade baixa, já os de asas fixas em voos com maior alcance e velocidade [2].

Estes equipamentos são capazes de viabilizar estudos precisos e mais acessíveis, promovendo a coleta de dados espaciais em três dimensões com agilidade, elevado grau de detalhamento e segurança, se comparadas aos métodos predecessores da aerofotogrametria tradicional [3], [4], [5], [6]. Na prospecção mineral, o drone pode ser utilizado como importante ferramenta na seleção de novos alvos, mapeamento para exploração mineral e avaliação de reservas [7], mapeamento estrutural, litoestrutural, identificação de falhas, geometria dos corpos e litologias associadas [8], [9], caracterização geomorfológica e geológica [10], bem como, cálculo da geometria e volume de estruturas de interesse [11]. Os produtos obtidos conferem resultados satisfatórios, mesmo quando não são utilizados pontos de controle no solo para melhoria do georreferenciamento das fotografias.

Diante do contexto apresentado, este trabalho tem como objetivo avaliar os produtos gerados por um drone da linha consumidor como suporte à prospecção mineral, avaliando as feições geológicas e geomorfológicas possíveis de serem extraídas do modelo digital de superfície e do modelo 3D texturizado obtido, comparando os produtos gerados (modelo digital de terreno (MDT), modelo digital de superfície (MDS) e ortomosaico) aos dados coletados em escala regional (imagem de satélite e mapeamentos geológicos disponíveis), para verificar se eles conferem ganhos em relação aos processos de prospecção mineral tradicionais. Destaca-se que nas etapas de prospecção de uma região, é necessário utilizar uma escala de detalhe, sendo também indispensável o reconhecimento do comportamento do relevo, visto que há uma forte influência da topografia no traçado dos contatos geológicos [3].

A área de estudo, trata-se de um polígono de aproximadamente 111 hectares, localizado em Nova Lima, Minas Gerais (MG), próximo às minas de minério de ferro da Vale (Mutuca e Tamanduá) e esteatito (conhecida popularmente como “pedra-sabão”). As coordenadas centrais da área são UTM: 618.482E e 7.777.085S, fuso 23K. A Figura 1 abaixo, apresenta o mapa de localização da área.

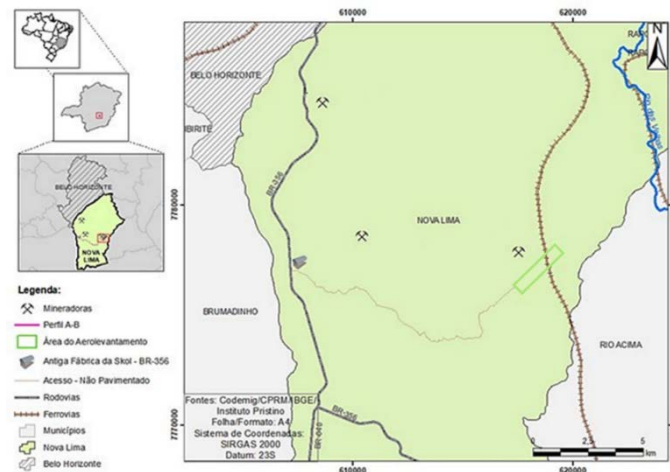


Figura 1 - Localização da área de estudo. Fonte: Autores.

2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está inserida no conjunto tectono-litoestratigráfico do Quadrilátero Ferrífero (QF), na parte sul do Cráton São Francisco. De forma resumida, a estratigrafia do QF, como apresentado na Figura 2, é classificada em Embasamento Cristalino (complexos metamórficos de idade arqueana), Supergrupo Rio das Velhas (SGRV) *Greenstone-Belts*

arqueanos, e Supracrustais do Paleoproterozoico, pertencentes ao Supergrupo Minas e Grupo Itacolomi [15],[16].

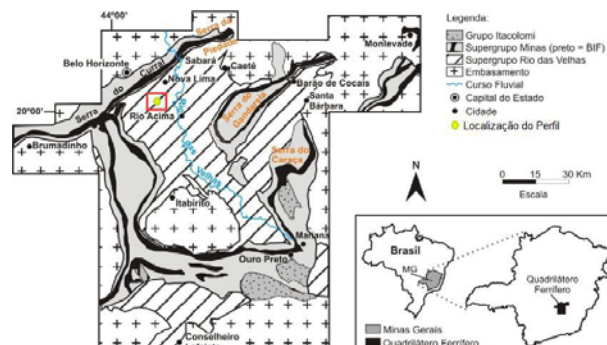


Figura 2 - Mapa Estratigráfico do Quadrilátero Ferrífero com destaque para a área de estudo.

Adaptado a partir de Alkmim e Marshak (1998).

A área de estudo abrange o Grupo Nova Lima (base do SGRV) e o Complexo Córrego dos Boaideiros (base do Grupo Nova Lima) [12]. O Grupo Nova Lima é composto por xistos, filitos, formação ferrífera, metabasalto, formação ferrífera bandada (FFB) ou *banded iron formation* (BIF), metachert e metabasalto komatiítico. No Complexo Córrego dos Boaideiros, são encontradas rochas metavulcânicas komatiíticas, representadas pelos talco-xistos, serpentinitos, esteatitos e metagabros [13].

Em relação à geomorfologia regional, as principais serras no QF se localizam em rochas do Supergrupo Minas [14], por serem mais resistentes aos processos erosivos, como os quartzitos e formações ferríferas, ao passo que, o Complexo Granito-Gnáissico e o SGRV, apresentam litologias mais erodidas. No QF, as rochas mais resistentes são os quartzitos e itabiritos, e os xistos, filitos e granitos gnaisses, são classificados como litotipos menos competentes [15]. O contraste de resistência entre os litotipos estão intimamente ligados ao controle litoestrutural a que o QF foi submetido, podendo ser conferido pelas diferenciações de altitude em seu relevo [16]. A região de estudo, encontra-se inserida entre as serras do Curral, da Moeda e do Gandarela, acreditando-se assim, ser uma espécie de bacia de deposição de metassedimentos sendo os processos orogênicos, responsáveis pelo metamorfismo das rochas e suas deposições [17].

O relevo do QF é proveniente da erosão diferencial, sendo bem marcada devido à diferenciação das litologias [18]. Em terrenos mais elevados, como nas cristas e serras, são identificados quartzitos e itabiritos; nas porções intermediárias, são encontrados xistos e

filitos; já nos interiores das anticlinais e sinclinais invertidos e nas terras mais baixas, são encontradas rochas de composição gnáissica.

A partir de um levantamento radiométrico realizado na área [19], e conforme a bibliografia disponível [12], e o Projeto Triângulo Mineiro [20], as litologias encontradas na região de estudo são em sua maioria, representadas por xisto/filito, seguidas por metabasalto, metabasalto/komatiito, formação ferrífera, metagabro e esteatito. Os dados levantados em campo, indicam que os solos alterados, são provenientes de rochas vulcânicas e sedimentares, afetadas por metamorfismo de baixo grau [13]. A identificação das litologias, só foi possível pela observação da alteração dos minerais como quartzo, clorita, biotita, muscovita, carbonato, plagioclásio e feldspato, pois, no geral, a região de estudo apresenta alto grau de alteração das rochas por ação intempérica e com poucos afloramentos íntegros.

A BIF, de origem metassedimentar [12], foi encontrada na área estudada, em um afloramento íntegro. Nas proximidades desse afloramento, são observados fortes processos intempéricos representados pelos latossolos gradacionais vermelhos e amarelados, em sua maioria, com presença de manganês (porções pretas que sujam as mãos) [19].

A Figura 3 a seguir, ilustra os mapas geológico e de modelo digital de terreno (MDT) em escala regional, sendo destacados na legenda o Grupo Nova Lima e o Complexo Córrego dos Boiadeiros, principais unidades litológicas presentes na área de estudo onde foi realizado o aerolevanteamento.

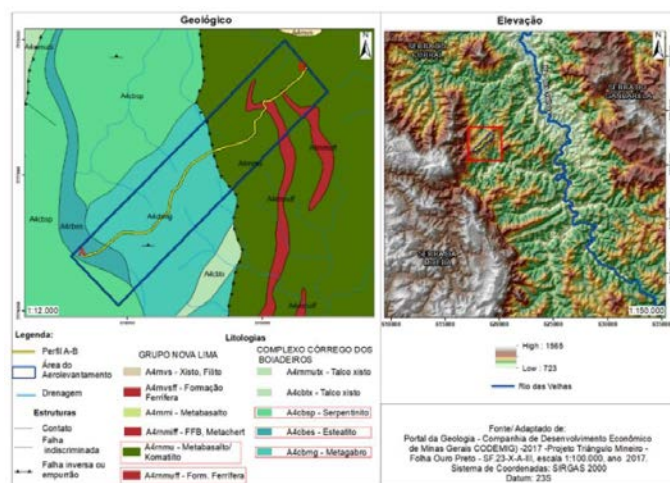


Figura 3 - Mapa Geológico simplificado e MDE (modelo digital de elevação) da área do aerolevanteamento em escala Regional. Fonte: Adaptado de [23]

Conforme informações da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) [21], a região apresenta em escala regional (1:1.000.000), solos do tipo cambissolo háplico (solos pouco evoluídos, rasos e suscetíveis à erosão). Em escala local, conforme mapeamento realizado por [19], a região caracteriza-se por latossolos (solos bem desenvolvidos e com pouca ou nenhuma matéria proveniente da rocha mãe), nas cores vermelho, amarelo, vermelho amarelado e cinza.

3 MATERIAIS E METODOLOGIA

Os tópicos a seguir, descrevem os materiais e métodos utilizados no levantamento das informações (pré-campo), etapa de campo e processamento (etapa de gabinete).

3.1 Plano de Voo

O plano de voo foi elaborado com auxílio do programa Google Earth. Inicialmente, foi criado um polígono de envolvimento da área de interesse que foi salvo no formato de KML para compatibilidade com o aplicativo controlador de voo - MapPilot. A Figura 4, a seguir, apresenta o plano de voo realizado e a as principais informações do aerolevanteamento, como: distância percorrida, velocidade, altitude, quantidade de imagens coletadas no momento e tempo de voo /autonomia de bateria.



Figura 4 - Plano de Voo – MapPilot. Fonte: Autores.

Foi utilizada um drone de linha consumidor modelo Phantom 4 Pro, da marca DJI, classe 3 (equipamento com peso máximo de decolagem maior que 250g e até 25 kg.), conforme classificação da Agência Nacional de Aviação (ANAC) [22].

3.2 Trabalho de Campo – Aquisição do Aerolevanteamento

O aerolevanteamento (Figura 5) foi realizado no dia 30 de outubro de 2021, na parte da manhã, visando minimizar os efeitos negativos para a modelagem da superfície causados pelas sombras por vegetação ou formas de relevo nas imagens aéreas [23], a uma altura de 150 metros

em relação ao solo, utilizando o aplicativo Map Pilot. O aplicativo possui a função *Terrain Aware*, que corrige a altitude de voo da aeronave com base em uma imagem SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), com resolução espacial de 30m, sendo reduzidas as distorções na qualidade dos produtos gerados, através do *Ground Sample Distance* (GSD - em tradução livre, distância da amostragem do solo), constante nas imagens coletadas.

Foram adotadas a sobreposição frontal (*front overlap*) e lateral (*side overlap*) de 75% em ângulo NADIR (90° - ponto diretamente abaixo da câmera no nível do solo), conforme experiência apresentada em trabalho anterior [24]. O planejamento de voo considerou que o conjunto das imagens obtidas recobrissem completamente o polígono de estudo, não sendo utilizados GCPs (*ground control points*) - pontos de apoio ou controle - utilizados normalmente para melhoria da etapa de obtenção de pontos comuns e estereoscopia entre as fotos, pois o terreno apresenta-se com pouca influência antrópica e vegetação de pequeno à médio porte.

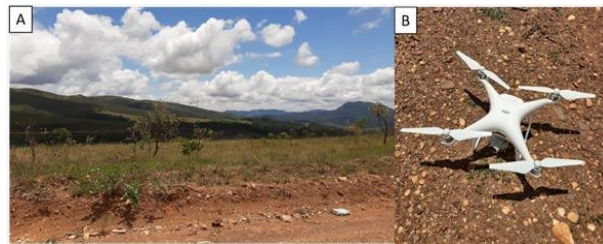


Figura 5 - Em A: Área de Estudo em condições climáticas favoráveis. Em B: Drone em solo.

Fonte: Autores.

3.3 Processamento das Imagens Obtidas pelo drone

Após o aerolevanteamento em campo, foi realizado o processamento dos dados brutos de forma a analisar quais informações seriam possíveis de extrair dos produtos obtidos (MDT, MDS, nuvem de pontos densa, ortomosaico e modelo 3D). O aerolevanteamento gerou 578 fotos, recobrando uma área de 110,8 hectares. Com o Agisoft Photo Scan, foi possível extrair informações de coordenadas, perfil topográfico e volume de uma região de interesse devido seu conteúdo litológico. Mapas elaborados no ArcGis, facilitaram a compreensão dos dados e a topografia representa graficamente a planimetria e /ou a altimetria de uma região, incluindo não só os aspectos naturais, mas também, os artificiais, sendo importante informação na prospecção mineral.

A partir do método fotogramétrico conhecido como *Structure from Motion* (SfM) do software Agisoft Photoscan, foi possível reconstruir tridimensionalmente o terreno a partir de

fotografias tomadas de diferentes pontos, posições e orientações [24], [25] através da identificação de pontos de características comuns entre as imagens.

Os mapas temáticos e comparativos foram elaborados no Arcgis, utilizando arquivos vetoriais e raster (MDE) em escala regional (1.100.000) que integram o Projeto Triângulo Mineiro. Os subtópicos A a G, a seguir, detalham os procedimentos adotados durante o processamento.

3.3.1 Alinhamento das Imagens

As imagens do aerolevantamento foram pré-alinhadas no software em baixa resolução devido a otimização da velocidade de processamento e a manutenção da qualidade no resultado, conforme experiência apresentada no trabalho de [24].

3.3.2 Nuvem de Pontos Esparsa e Conversão do Datum

O produto gerado pelo pré-alinhamento foi a nuvem de pontos esparsa (*tie points*), conforme mostrado na Figura 6. Os *tie points* são pontos de “amarração” [26] detectados em duas ou mais imagens diferentes. De maneira sucinta, são os pontos que associam as imagens umas às outras, a fim de obter a posição relativa em 3D. Em seguida, O DATUM foi alterado de WGS84 para SIRGAS 2000 UTM zona 23S. A partir dos dados tridimensionais gerados como nuvem de pontos, o software é capaz de reconstruir os produtos como MDS, MDT e ortomosaico.



Figura 6 - *Tie Points* em Nuvem de Pontos Esparsa. Fonte: Autores.

3.3.3 Nuvem de Pontos Densa

Foi gerada a nuvem de pontos densa, com qualidade média de processamento e filtro agressivo, a fim de simplificar as formas dos elementos de superfície, o que promove ganhos em tempo de processamento, menor quantidade de ruídos e maior precisão na classificação da nuvem de pontos, sendo, portanto, o filtro mais indicado para geração de modelos digitais de terreno (Figura 7).

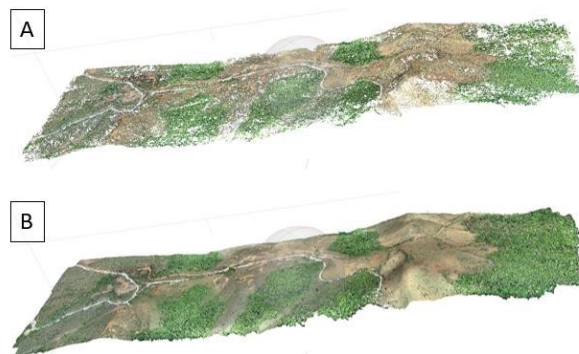


Figura 7 - Nuvem de Pontos. Em A: Nuvem esparsa, em B: Nuvem Densa. Fonte: Autores.

A partir da nuvem de pontos densa gerada, foi possível visualizar o terreno com maior nível de detalhamento por conter as informações de coordenadas $x(E)$, $y(N)$ e $z(\text{cota/altimetria})$, associadas ao RGB (coloração dos pontos) da área imageada.

A nuvem de pontos densa, serve como base na criação de MDS, MDT e malha mesh (triangulação dos pontos para geração de superfícies 3D realísticas), podendo esta, ser classificada para aplicações em análise de uso e cobertura do solo.

3.3.4 Classificação da Nuvem de Pontos

Foi realizada a classificação da nuvem de pontos (Figura 8), distinguindo os elementos como estradas, vegetação e terreno para geração do MDT (modelo digital de terreno), para posteriormente, obter o MDS (modelo digital de superfície). As classes identificadas foram classificadas em cores: vermelho para maiores elevações de terreno (topo de morro), marrom para o terreno exposto e verde para vegetação. Não foram realizadas correções manuais da classificação gerada, devido a seção A-B estar inserida em uma região sem interferências e construções antrópicas significativas. A classificação automatizada, possibilita a criação de um modelo de terreno mais fiel à realidade e com menor intervenção do usuário. [27].

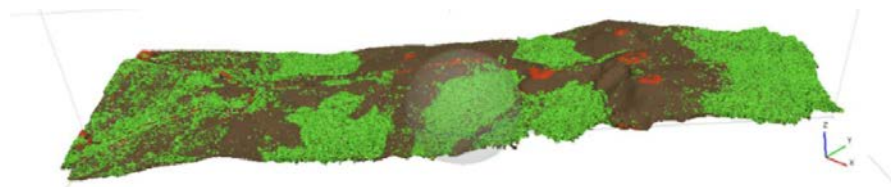


Figura 8 - Classificação dos pontos - em nuvem densa. Fonte: Autores.

3.3.5 Construção da malha do modelo 3D e suavização

Após a etapa de classificação da nuvem de pontos, foi construída a malha (mesh) utilizando apenas a categoria “terreno” (*ground*), que é a base para geração do MDT. O modelo

3D resultante, apresentou ruídos devido aos erros decorrentes da classificação da nuvem de pontos e foi suavizado aplicando a função “*smooth mesh*”. Esse procedimento suaviza as rugosidades do relevo, sendo necessário para a geração de curvas de nível que melhor representem as formas do terreno, eliminando os elementos presentes na superfície.

3.3.6 Construção do MDT, extração das curvas de níveis e Ortorretificação (Geração do Ortomosaico com base no MDT)

A partir do modelo 3D com a malha, foi gerado o MDT em escala de cores RGB (Figura 9), sendo as maiores cotas representadas por tons mais quentes (vermelho) e as menores por tons mais frios (verde/azul). Com o MDT finalizado, foram geradas as curvas de nível com equidistância de 1 metro, apresentando assim, alto nível de detalhe.

O MDT, dentro do fluxo de trabalho do software, foi utilizado para a realização da ortorretificação do mosaico final, gerando uma imagem aérea única e ortorretificada, ou seja, ajustada para uma projeção ortogonal ao terreno (Figura 9). Através do ortomosaico e modelo 3D em uma primeira análise, foram individualizados os solos em categorias como solo exposto e vegetação densa e rasteira. Posteriormente foi elaborado um mapa de uso e ocupação do solo com maior detalhamento, associado aos dados do trabalho anterior de [19], realizado na área.



Figura 9 - Em A: MDT, em B: Ortomosaico.

3.3.7 Construção do MDS

Foi construído o modelo digital de superfície (MDS) 3D (Figura 10), com a reconstrução realística da área de estudo (modelo texturizado), reconstruindo a malha densa com todas as classes: terreno, vegetação e estradas na área. O modelo tridimensional foi utilizado na análise macro do terreno quanto à sua variação das tonalidades, assumindo as categorias: vegetação densa (porções verde-escuras e texturizada), vegetação rasteira (porções verde-claras menos texturizada), solo exposto (em tom mais alaranjado), solo amarelo e solo vermelho (em regiões próximas às formações ferríferas) [28]. Essa categorização possibilitou a elaboração de um mapa simplificado com mais classificações de uso e ocupação do solo, ambos, apresentados em resultados e discussões.



Figura 10 - Modelo Final 3D. Fonte: Autores.

3.3.8 Cálculo de estruturas de interesse

Por fim, foi calculado o volume do corpo delimitado por um polígono de interesse. Esse polígono foi determinado considerando a região de ocorrência da BIF (seção A-B) que apresenta normalmente altas concentrações de ferro. Esse cálculo foi realizado utilizando o ortomosaico de forma aleatória, como uma estimativa do volume bruto do corpo de interesse, uma vez que existem parâmetros específicos para definir com exatidão o volume de um corpo mineral. A Figura 11 a seguir, apresenta resumidamente o fluxograma das etapas e procedimentos utilizados no desenvolvimento dos trabalhos, antes e durante o processamento das imagens do aerolevanteamento.

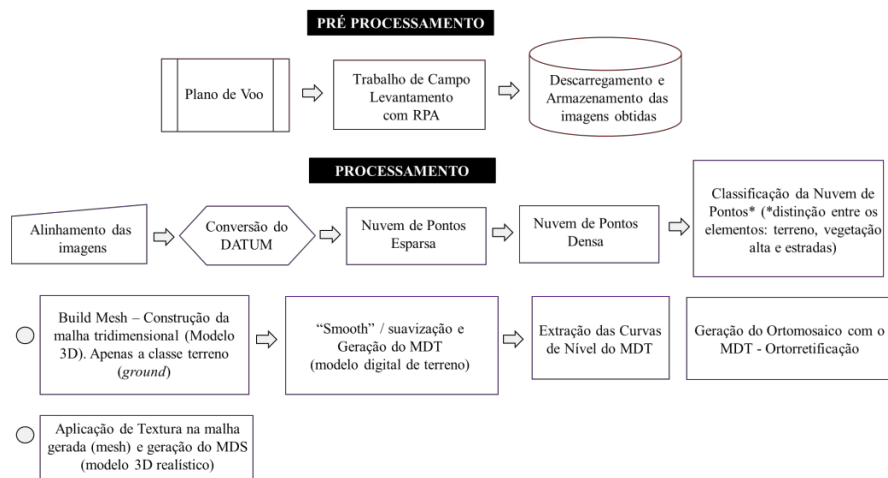


Figura 11 - Fluxograma das etapas do trabalho. Fonte: Autores.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

As técnicas de detecção remota e processamento (fotogrametria digital), apresentadas anteriormente, geraram produtos que foram analisados através de conceitos básicos de fotogeologia [28], permitindo assim, uma primeira abordagem à caracterização da região. Os resultados e as discussões destes, são apresentados e discutidos, a seguir.

4.1 Análise Comparativa: Imagem de Satélite x Drone

Foi possível verificar a diferença da qualidade de resolução ao identificar as texturas, tonalidades e feições do relevo com maior nível de detalhamento quando sobreposta à imagem de satélite do ArcGis, assim como o georreferenciamento (alinhamento) adequado da imagem final, conforme apresentado na Figura 12.

Esta primeira observação, forneceu uma rápida e atualizada verificação da situação geral, como: acessos disponíveis, presença de vegetação arbustiva ou rasteiras, drenagens, relevo e utilização antrópica, facilitando a compreensão da área de estudo e agilizando uma correta seleção de alvos (anomalias). Dessa forma, é possível obter um melhor planejamento [3] dos possíveis levantamentos geológicos, geoquímicos e geofísicos, execução de trincheiras, poços de pesquisa e sondagem, de forma mais adequada ao cenário da área de estudo.



Figura 12 - Ortomosaico sob imagem de satélite. Fonte: Autores.

4.2 Topografia da Área de Estudo

O mapa topográfico (Figura 13), foi elaborado com a extração das informações do MDT, com as curvas de nível equidistantes 1 m, sem bifurcações e/ou cruzamentos entre si [3], conferindo um resultado satisfatório e coerente com a realidade da área de estudo. A área de estudo, é pouco acidentada em sua maior parte, apresentando terreno mais acidentado (curvas mais próximas) na região destacada na Figura 13, onde ocorrem as formações ferríferas, com presença de BIF.

Vale destacar que a geração de MDT com drones é desafiadora, visto que a modelagem da superfície depende da radiação eletromagnética refletida pelos objetos. No drone utilizado, as câmeras são do tipo convencionais, ou seja, operam apenas com a luz visível (não possui *laser* para detecção do espectro do infravermelho), e, portanto, a experiência do usuário na realização do aerolevanteamento é decisiva nos resultados [24].



Figura 13 - Mapa da topografia sobre ortofoto. Detalhe de região com maiores elevações.

Fonte: Autores.

A utilização do MDT (modelo digital de terreno) na geração de curvas de nível se deve por este modelo utilizar-se das cotas do solo, desconsiderando os topos de morros, antenas de transmissão, árvores e demais objetos acima do nível do terreno, diferentemente do MDS, que consideraria todos os elementos acima do solo.

Vale destacar a agilidade para a realização de um mapeamento topográfico com drone, uma vez que, para a geração do MDT e das curvas de nível de toda área, foram gastas 2 h de voo em campo, mais 13 h de processamento em escritório, totalizando 15 horas de trabalho. A área de estudo possui 110,8 hectares, ou seja, mais de 1 milhão de metros quadrados. Caso fosse empregada a metodologia de topografia convencional, poderia demorar alguns dias, além do custo da equipe e aluguel com equipamentos que seriam mais elevados.

4.3 Avaliação das Feições Geológicas, Geomorfológicas e Pedológicas

Inicialmente os solos da região foram categorizados apenas conforme as tonalidades observadas no ortomosaico e modelo 3D (Figura 14), uma vez que elas podem estar relacionadas com a presença de minerais contidos nos solos e na rocha, teor de humidade, vegetação e alterações hidrotermais. Ressalta-se que quanto maior a espessura do solo, menos precisa é a correlação entre as tonalidades ao seu tipo litológico. Ao ampliar a escala de visualização do terreno, foi obtido um mapa simplificado de uso e ocupação do solo (Figura 15).



Figura 14 - Identificação das regiões conforme variação de tonalidades dos solos no Modelo 3D. Fonte: Autores.

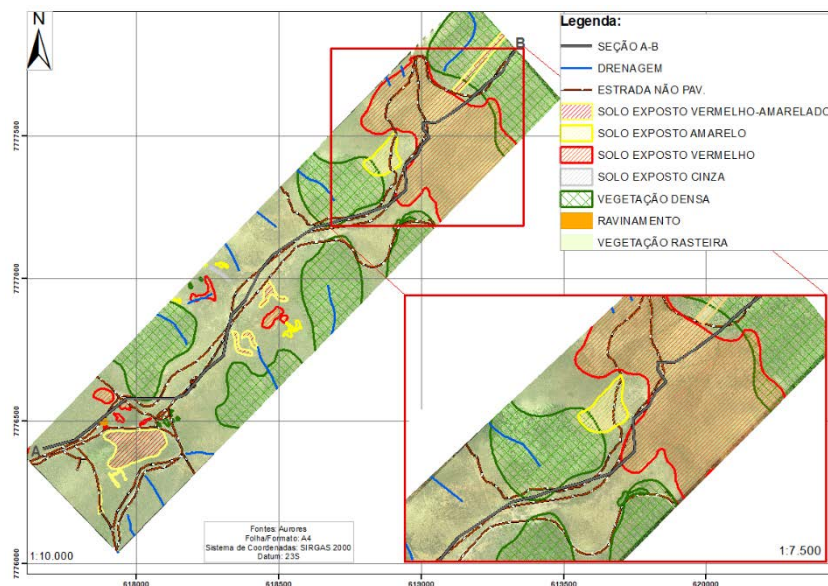


Figura 15 - Mapa Simplificado de Uso e Ocupação do Solo. Fonte: Autores.

O mapa da figura 15 mostra a caracterização dos solos da região de estudo presente no Supergrupo Nova Lima, que por sua vez é caracterizado por apresentar latossolos (solos bem desenvolvidos) e com pouca ou nenhuma matéria proveniente da rocha mãe.

O trabalho elaborado por [19] promoveu um levantamento radiométrico terrestre na área estudada e os autores descreveram a região como uma área de rochas fortemente intemperizadas onde há a formação de latossolos, em sua maioria de coloração vermelha, amarela e vermelha-amarelada. As litologias mais competentes (formações ferríferas - (BIFS)), são encontradas nas regiões de pico, enquanto as rochas menos competentes, como os xistos e filitos e/ou serpentinitos, encontram-se em colúvios.

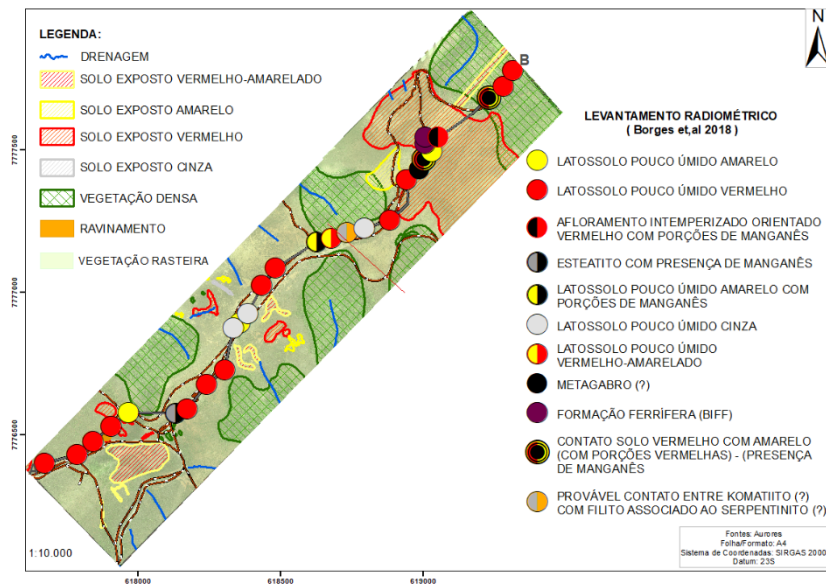


Figura 16 - Mapa de uso e ocupação do solo correlacionando o mapeamento radiométrico de Borges et,al 2018 ao resultado do levantamento de drone. Fonte: Autores.

O mapa da figura 16, mostra a caracterização do solo resultante da análise das imagens obtidas pelo drone correlacionando-as com as informações da geologia local [19] e regional [20] da região.

O latossolo amarelo é um solo que apresenta teores baixos de $Fe^{2+}O^3$, composto por materiais argilosos ou areno-argilosos sedimentares. O latossolo vermelho amarelado ocorre em ambientes bem drenados, sendo muito profundos e uniformes. O latossolo cinza caracteriza-se por sofrer um intenso processo de desferrificação, caracterizado pela ausência de Fe^{3+} , com ou sem presença do Fe^{2+} [29], o que gera as cores acinzentadas. A ausência dos óxidos de Fe é um indício que este solo passou por longo período sob condições redutoras de oxigênio.

Um dos tipos de solos identificados no mapa foi o latossolo vermelho. Esse tipo de solo possui em sua composição um alto conteúdo de ferro que inibe a fertilização e consequentemente diminui a presença de vegetação [3]. O levantamento radiométrico terrestre elaborado por [19] confirma essa expectativa, uma vez que foi encontrado metagabro (alto teor de ferro) e formação ferrífera nesta região.

Os latossolos amarelos e vermelhos amarelados indicam presença de minerais oriundos de ferro hidratado, e contêm materiais argilosos ou areno-argilosos sedimentares [21]. Onde ocorrem esses latossolos, foram observadas vegetações melhor desenvolvidas e/ou região de transição entre solos, o que foi também confirmado por [19]. Essa correlação solo identificada por [19] e o aerolevanteamento, se dá ao observar que estes são solos que apresentam boas condições físicas de retenção de umidade e boa permeabilidade.

Os latossolos cinzas indicam intenso processo de desferrificação, caracterizado pela ausência de Fe^{3+} , com ou sem presença do Fe^{2+} [21], o que gera as cores acinzentadas. A ausência dos óxidos de Fe, demonstram que este solo esteve por longo período sob condições redutoras de oxigênio. O latossolo cinza identificado pelo aerolevanteamento e o mapeamento terrestre [19], estão sobre vegetação rasteira e fora da região de abrangência da BIF, sendo, portanto, coerente com a caracterização deste solo.

A presença de um padrão de drenagem de média densidade e de lineações, indicam rochas provenientes de ambientes metamórficos, o que pode ser constatado em [19] e [20].

Ampliando a escala de visualização, foram notados processos erosivos e marcas de ravinamento ao longo da área de estudo, como apresentado na Figura 17 abaixo. Os processos erosivos, como os ravinamentos, são bons indicativos de desmatamento devido atuações antrópicas e auxiliam no entendimento da situação da área quanto à sua preservação, ocupação e utilização. Esses processos também servem de indicativo da resistência das rochas: em regiões com menor ocorrência de erosão, predominam rochas mais resistentes ao intemperismo. Minerais constituintes de rochas metamórficas, como os xistos presentes na área, são formados à elevadas temperaturas e/ou, elevadas pressões, e se tornam instáveis quando expostos a superfície, sendo alterados mais rapidamente [3], [14].



Figura 17 - Detalhe dos processos erosivos identificados durante análise do ortomosaico.

Fonte: Autores.

A identificação de lineações auxiliaram a uma rápida interpretação estrutural da região. A interpretação de estruturas, permite identificar os alvos em depósitos minerais onde o controle estrutural influencia diretamente na acumulação do recurso mineral de interesse, como linhas

de charneira de dobras (para minério de scheelita), zonas de cisalhamento, fraturas e falhas (para minério de ouro) [3].

O MDT (Figura 18), proporcionou a visualização do terreno, onde cores mais frias, como azul verde, amarelo e azul, indicaram relevos com cotas altimétricas mais baixas, ao passo que, as cores mais quentes, como o vermelho, destacaram as maiores elevações. Foram identificadas pequenos vales, drenagens, rugosidade do relevo e regiões de prováveis falhamentos estruturais. Essas feições estão intimamente ligadas ao grau de resistência das rochas [16],[30].

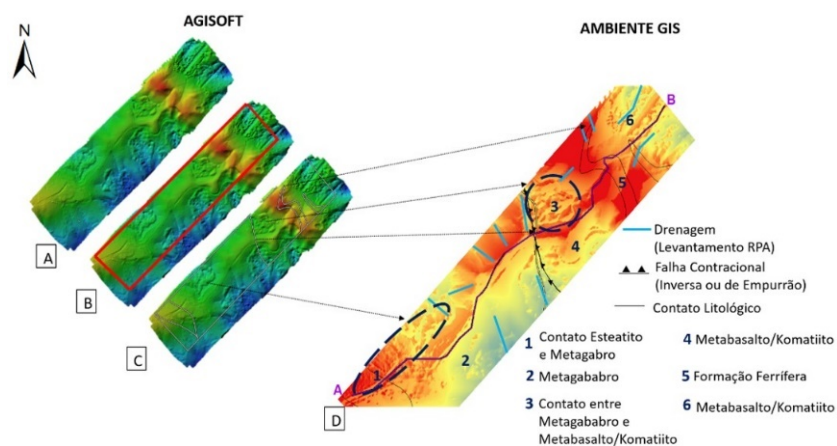


Figura 18 - Imagens obtidas pelo drone analisadas em Agisoft x Ambiente Gis. A: MDT no Agisoft. B: MDT com polígono da seção de estudo no Agisoft. C: MDT com Geologia Regional sobreposta no Agisoft. D: MDT no ArcGis – associação de estruturas. Fonte: Autores.

Ao correlacionar o dado vetorial (shapefile) de geologia estrutural em escala regional ao MDT, a textura do relevo apresentou maior rugosidade, podendo estar associada às regiões onde há contatos litológicos. Na região próxima da falha contracional, a rugosidade do terreno é ainda mais ressaltada. As drenagens identificadas no ortomosaico (mapa de uso do solo), apresentam alguma correlação com as regiões de rebaixamento do terreno.

Essas observações confirmam que há uma importante relação entre as feições resultantes ao grau de resistência das rochas [18], [28], colaborando com o melhor entendimento do comportamento litoestrutural da área de estudo, durante a etapa de prospecção mineral.

4.4 Delimitação e Mensuração de um Possível Prospecto Mineral

O levantamento radiométrico realizado anteriormente na região [19] demonstrou a ocorrência de BIF na área estudada. Por meio do modelo 3D, MDS e perfil de elevação, foi possível identificar a área correspondente à região de ocorrência da formação ferrífera bandada.

Para entender melhor essa região, foi realizada uma seção (C-D) no Agisoft, interceptando o solo exposto vermelho, vegetação pouco desenvolvida, linha de cumeeada (onde se encontra a cota de maior elevação (1100m)), e dois pontos de cota intercalados, conforme Figura 19. Essa diminuição da escala de trabalho serviu para melhor delimitar e detalhar um possível alvo/prospecto de estudo. Esses ajustes de escala são importantes durante as fases de prospecção mineral, visto que, auxiliam na melhor definição dos trabalhos como mapeamento geoquímico, abertura de poços e trincheiras, sondagens, entre outros que deverão ser realizados no corpo mineral de interesse.

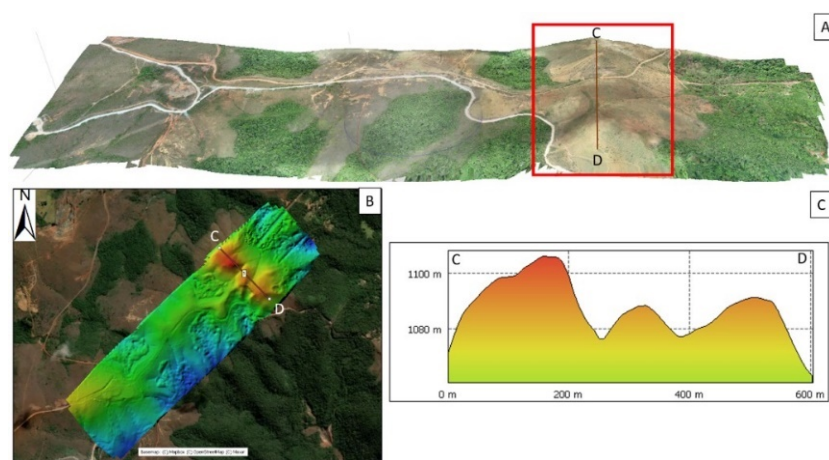


Figura 19 - Produtos Gerados para Análise da Formação Ferrífera. Em A: Modelo 3D com seção C-D, em B: Seção C-D sobre formação ferrífera, em C: Perfil de elevação da formação ferrífera.

4.5 Cálculos em Estruturas de Interesse utilizando o Agisoft

A determinação das dimensões e volumes na mineração se faz necessária nas etapas de prospecção mineral para um correto dimensionamento dos corpos mineralizados.

Após definida uma área de interesse em aprofundar o conhecimento, como mostrado na figura anterior e na Figura 20 abaixo, foram extraídos os dados acerca da geometria, perfil topográfico e volume da mesma (Figura 21). Esses cálculos, dentro do contexto de prospecção mineral, podem ser realizados em alvos de interesse como corpos hídricos, afloramentos, zonas de interesse ambiental, entre outros, e na prospecção mineral avaliou-se possibilidades como acompanhamento de abertura de trincheiras (escavações variadas), cálculo das áreas de levantamentos geofísicos, geoquímicos, sondagens, entre outros.

O Agisoft Metashape mostrou-se uma ferramenta capaz de gerar com facilidade e rapidez a delimitação de áreas para estudos detalhados (Figura 20), além das informações como coordenadas (inicial e final) do perfil traçado sobre a região, o perfil de elevação e o volume da

poligonal traçada (Figura 21). O *software* também fornece diferentes formas de serem realizados o cálculo de volume, sendo escolhido “*best fit plane*”, ou seja, o programa reconheceu um melhor plano utilizando a altitude dos vértices, considerando o que há acima e abaixo deste valor. Há também as opções de utilizar uma média da altitude dos vértices ou definir um valor de cota, dependendo apenas da demanda e objetivos do usuário.

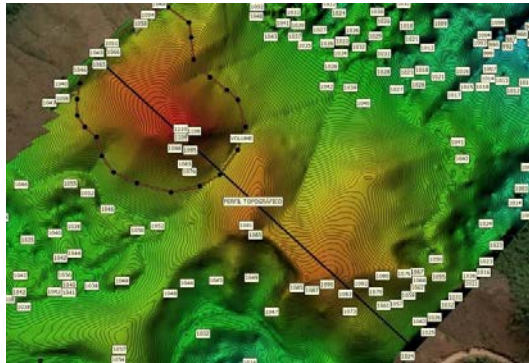


Figura 20 - Área de estudo: Perfil topográfico e área para cálculo volumétrico do afloramento onde foram encontradas BIFs. Fonte: Autores.

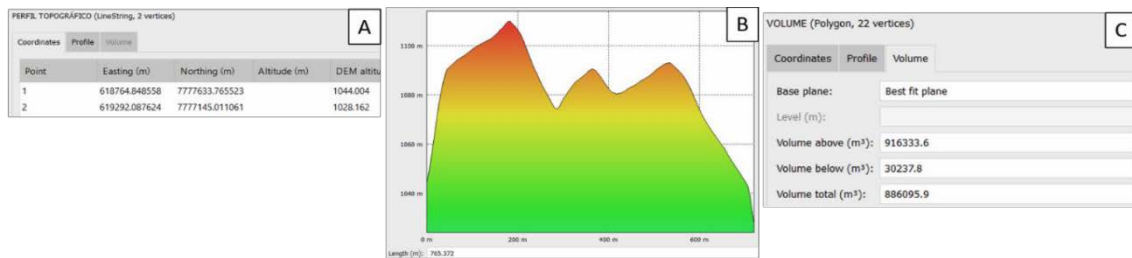


Figura 21 - Informações extraídas para o polígono da área alvo de interesse. Em A: Coordenadas do perfil topográfico em B: perfil de elevação e em C: Dados Volumétricos. Fonte: Autores.

Em relação à acurácia e precisão dos resultados de cálculo de volume, vale destacar que não foram utilizados pontos de controle em solo, o que contribuiria para melhorar o posicionamento dos dados (GCPs).

5 CONCLUSÃO

A partir dos dados coletados com o drone, foi possível avaliar as principais feições geológicas e geomorfológicas, além da pedologia local nos modelos digital de superfície e 3D texturizado, posteriormente esses produtos foram comparados aos dados em escala regional [21], [23] e mapeamento de detalhe [22] disponíveis. Essa combinação (aerolevantamento e bibliografia) viabilizou uma melhor compreensão das características da área de estudo e identificação das zonas homólogas.

O ortomosaico gerado através das imagens captadas pelo drone forneceu uma rápida verificação da situação geral da área de forma mais atualizada e com maior resolução espacial que imagens convencionais geradas por satélite. Foram identificadas as regiões com diferentes texturas, alternância de coloração dos solos expostos, confirmando a transição dos latossolos da região, porte da vegetação, presença de ravinamentos, comportamento das drenagens frente ao controle litoestrutural e as diferenciações do relevo. Visando garantir a homogeneidade das imagens, a taxa de sobreposição (75% lateral e frontal) e altura do voo (150 m) escolhidas, foram determinadas com base na topografia do terreno e na qualidade desejada para os produtos, além de experiência apresentada em trabalho anterior [26].

Foi confirmada a empregabilidade do drone como uma eficiente ferramenta auxiliar na seleção de alvos e planejamento da prospecção mineral, uma vez que podem obter informações da área de estudo de forma mais rápida, custo atrativo e mais segura em relação aos métodos clássicos como levantamento de dados por imagens de satélites, que não possuem tanta precisão, são caras, nem sempre atualizadas e são mais suscetíveis aos fatores meteorológicos, bem como, comparativamente às aeronaves tripuladas, que limitam a área de estudo, precisam de uma área grande de pouso e aumentam os riscos do levantamento.

Por fim, apesar do drone exigir do usuário um certo conhecimento técnico, como o gerenciamento correto da autonomia da aeronave e habilidades para controle principalmente em regiões com linhas de transmissão, vegetação densa e regiões de quedas d'água, os resultados obtidos se mostraram coerentes com o levantamento geológico indicado na bibliografia, confirmando que essa tecnologia é um recurso eficaz na geração de produtos precisos de MDS, MDT, curvas de nível e ortomosaicos. Para melhoria na precisão dos mapas gerados, os autores recomendam o uso de pontos de controle no solo (GCPs).

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] MARANHÃO, Ricardo Jorge Lobo. **Introdução à pesquisa Mineral**. Fortaleza-PE. 3ª edição. 752p. 1985.

[2] ADDATI, Gastón A.; PÉREZ LANCE, Gabriel. *Introducción a los UAV's, Drones o VANT's de uso civil*. Serie Documentos de Trabajo, Universidad de CEMA, No. 551, Buenos Aires, 2014.

[3] NETO, Mário Tavares de Oliveira Cavalcanti; ROCHA, Alexandre Magno Rocha da. Noções de Prospecção e Pesquisa Mineral para Técnicos de Geologia e Mineração. Editora do IFRN-RN, Natal/RN, 2010. 267 p.

[4] MAGALHÃES, Danilo Marques de.; MOURA, Ana Clara Mourão. Avaliação da acurácia do modelo tridimensional de uma edificação gerado por um micro VANT. Geografia y Sistemas de Información Geográfica (GEOSIG), v. 10, n. especial, p. 62-86, 2018.

[5] WESTOBY MJ; Brasington J; Glasser NF; Hambrey MJ; Reynolds JM. Structure-from-Motion photogrammetry: A low-cost, effective tool for geoscience applications.

[6] ZHU, Qing; ZHANG, Yunsheng; WU, Bo; ZHANG, Yeting. Multiple close-range image matching based on a self-adaptative triangle constraint. The Photogrammetric Record. vol 135, n. 25, p. 437-453, 2010.

[7] VALE, Daniel. Pesquisa Mineral e Reavaliação da Reserva de Granito Ornamental no Córrego Água Preta, município Nova Venécia, estado do Espírito Santo. Dissertação de Mestrado. Pós-graduação em Tecnologia Mineral, Universidade Federal do Pampa. Caçapava do Sul. 2018.

[8] DE CASTRO, David Lopes, et al. Identificação de Falhas no Pós-Rifte da Bacia Potiguar Utilizando VANT e Dados Sísmicos Anais...XVII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO - SBSR, João Pessoa-PB, Brasil, INPE, 2015 p. 5342 a 5347.

[9] DE SANTANA Menezes L, SANTOS MR, Senra AS. Fotointerpretação obtida por aeronave remotamente pilotada (RPA) aplicada em mapeamento litoestrutural de escala 1: 800, afloramento do domínio Macururé, município de Capela-SE. Geociências. São Paulo, UNESP, Revista Geociências, v. 38, n. 2, p. 483 - 493, 2019.

[10] LUZ, C. C ; ANTUNES, A. F. B. Validação da tecnologia VANT na atualização de bases de dados cartográficos geológicos – Estudo de caso: Sistema cárstico do rio João Rodrigues. Revista Brasileira de Cartografia, N0 67/7: 1439-1452, 2015.

[11] SILVA, C.A.; DUARTE, C.R.; SOUTO, M.V.S.; SANTOS, A.L.S.; AMARO, V.E.; BICHO, C.P.; SABADIA, J.A.B.; Avaliação da acurácia do cálculo de volume de pilhas de rejeito utilizando VANT, GNSS E LiDAR. **Boletim de Ciências Geodésicas**. Curitiba, v. 22, n. 1, p.73 - 94, 2016.

[12] ZUCCHETTI, M; BALTAZAR, O. Estratigrafia. In: M. ZUCCHETTI, O.F. BALTAZAR (ed.), Projeto Rio das Velhas - Texto explicativo do mapa geológico integrado, escala 1:100.000. 2nd ed. Belo Horizonte, DNPM - Departamento Nacional de Produção Mineral. CPRM -Serviço Geológico do Brasil- 2000. 126 p.

[13] ALKMIM, F. F. de; MARSHAK, S. Transamazonian orogeny in the Southern São Francisco craton region, Minas Gerais, Brazil: evidence for paleoproterozoic collision and collapse in the Quadrilátero Ferrífero. *Precambrian Research*, v. 90, n.1-2, p.29-58, jun. 1998. Disponível em <<http://www.repositorio.ufop.br/handle/123456789/2003>>. Acesso em: 10 maio 2022.

[14] HASUI, Y. Cráton São Francisco. In: YOCITERU HASUI; CELSO DAL RÉ CARNEIRO; FERNANDO FLÁVIO MARQUES DE ALMEIDA, ANDREA BARTORELLI. (Org.). *Geologia do Brasil*. Edição 1. São Paulo: Editora Beca, 2012, v. 1, p. 200-227.

[15] SALGADO, A. A. R. **Estudo da evolução do relevo do Quadrilátero Ferrífero, MG, através da quantificação dos processos erosivos e denudacionais**. 2006. Tese de Doutorado. Ouro Preto, UFOP, 188p.

[16] VARAJÃO, C. A. C. A questão da correlação das superfícies de erosão do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. São Paulo, **Revista Brasileira de Geociências**, v.21, n.2, p.138-145, 1991.

[17] NOCE, C.M. **Geocronologia dos eventos magmáticos, sedimentares e metamórficos na região do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais**. 1995. Tese (Doutorado em Geoquímica e Geotectônica) - Instituto de Geociências, University of São Paulo, São Paulo, 1995.

[18] TRICART, J. **O modelado do Quadrilátero Ferrífero sul de Belo Horizonte**. **Anais...Annales de geographie**.n.379. p.255-272, 1961.

[19] BORGES, G.S.; LOPES, I.C; CARLOS, D.U. **Gamaespectrometria Terrestre Aplicada na Caracterização Radiométrica de Rochas Intemperizadas numa Seção NE-SW na Região de Nova Lima – MG**. Trabalho de Conclusão de Curso. Centro Universitário de Belo Horizonte. Belo Horizonte. 2018.

[20] PORTAL DA GEOLOGIA. Projeto Triângulo Mineiro. Belo Horizonte: CODEMIG, 2017. Disponível em <<http://www.portalgeologia.com.br/index.php/mapa/>>. Acesso em: 17 jun. 2022.

[21] EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 2 a ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 2006. 306 p.

[22] ANAC–AGÊNCIA NACIONAL DE AVIÃO CIVIL. **Regulamento Brasileiro de Aviação Civil Especial nº 94 (RBAC-E nº 94) - Requisitos Gerais para Veículos Aéreos Não Tripulados, 2017.** Disponível em <https://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/rbha-e-rbac/rbac/rbac-e-94/@@display-file/arquivo_norma/RBACE94EMD00.pdf>. Acesso em: 04 mar. 2021.

[23] ABER, James S.; MARZOLF, Irene; RIES, Johannes. B. Small-Format aerial photography: principles, techniques and geoscience applications. Amsterdam: Elsevier, 2010. 268p.

[24] MAGALHÃES, Danilo Marques de. **Uso de drones como suporte ao planejamento territorial: da coleta de dados à geovisualização.** 2021. Tese de Doutorado. Departamento de Geografia da Universidade Federal de Minas Gerais, UFMG, 258 p.

[25] LOPES, José Manuel Martins Sousa Anjos. **Fotogrametria e Detecção Remota Aplicada à Prospecção Mineira.** 2015. Tese de Dissertação de Mestrado em Engenharia Geográfica. Universidade do Porto, Porto.

[26] AGISOFT FORUM ONLINE. Lista de discussão. St Petersburg: Agisoft, 2018. Disponível em <<https://www.agisoft.com/forum/index.php?topic=9140.0>>. Acesso em: 3 mar. 2022.

[27] OLIVEIRA, Diondetson Rocha; CICERELLI, Rejane Ennes; ALMEIDA, Tati; MAROTTA, Giuliano Sant’Anna. Geração de modelo digital de terreno a partir de imagens obtidas por Veículo Aéreo Não Tripulado. **Revista Brasileira de Cartografia.** vol. 69, n. 6, p. 1143-1151. 2017.

[28] ARCANJO, João Batista Alves. **Fotogeologia: Conceitos, métodos e aplicações.** Salvador: CPRM, 2011. 146 p.

[29] RESENDE, M.; CURI, N.; REZENDE, S.B. DE; CORRÊA, G.F. **Pedologia: base para distinção de ambientes.** 4 ed. Viçosa: NEPTU, 2002. 332 p.

[30] INPE. Landsat. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/documentacao/satelites/landsat>. Acesso em: 05 de mar.2022.