Universidade de Brasília
Faculdade de Tecnologia
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental

Levantamento Topográfico por Aeronave Remotamente Pilotada (RPA) da Região da Bacia do Córrego Capetinga Como Parte do Estudo do Potencial Superficial de Recarga de Aquífero

Erick V. Marques

Monografia apresentada como requisito parcial
para conclusão do Bacharelado em Engenharia Ambiental

Orientador
Prof. Dr. André Luis Brasil Cavalcante

Brasília
2023

Universidade de Brasília
Faculdade de Tecnologia
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental

Levantamento Topográfico por Aeronave Remotamente Pilotada (RPA) da Região da Bacia do Córrego Capetinga Como Parte do Estudo do Potencial Superficial de Recarga de Aquífero

Erick V. Marques

Monografia apresentada como requisito parcial
para conclusão do Bacharelado em Engenharia Ambiental

Prof. Dr. André Luis Brasil Cavalcante (Orientador)
ENC/UnB

Prof. Dr. Eleudo Esteves de Araújo Silva Júnior
ENC/UnB

Prof. Dr. Newton Moreira de Souza
ENC/UnB

Prof.a Dr.a Yovanka Pérez Ginoris
Coordenadora do Bacharelado em Engenharia Ambiental

Brasília, 27 de junho de 2023

Dedicatória

À minha mãe, meu pai, minha vó e minha irmã.
Á toda minha família e todos as pessoas que moram no meu coração.
Em especial, para Lucas de Castro Dias Buarque de Gusmão (in memoriam). Te amo irmão!

Agradecimentos

Gostaria de agradecer e dedicar este trabalho a todos os meus ancestrais e aqueles que vieram antes de mim, que permitiram que eu estivesse aqui hoje.

Primeiramente, gostaria de expressar minha gratidão à minha mãe, Edilene Valdares Marques. Sem você, nada faria sentido. Obrigado por me dar carinho, muito amor e por me ensinar todas as coisas boas desta vida.

À minha avó, Ivanilde Valadares Marques, você me ensinou a nunca desistir e a sempre ver o lado bom da vida. Com certeza, é isso que levo para todos os lugares que vou.

Ao meu pai, Edinelton Valadares Marques, você me ensinou a trabalhar duro, a ter coragem e força de vontade. Nunca desistir e sempre buscar excelência em tudo que faço.

À minha irmã, Giuly Valadares do Nascimento, que me ensina todos os dias a ser uma pessoa melhor e que tem paciência com as minhas chatices.

À minha companheira de vida, Danielle Bernades Magalhães, você fez com que eu acreditasse que era possível, me fez melhor e me mostrou que era possível.

Ao meu orientador, André Luís Brasil Cavalcante, sou imensamente grato pela orientação competente e pelo constante incentivo à excelência acadêmica. Seu profissionalismo e dedicação foram essenciais para o desenvolvimento deste trabalho.

A todos os participantes do Geofluxo em especial a Ana, Paulo, Mariana e Matheus por me ajudarem em todos os momentos para a conclusão desse trabalho

A todos os amigos da Rural Tech, Alessandra, Bastião, Cego, Diogo, Douglas, Fabio, Giovanni, Guilherme, Haroldo, Julia, João, Jonas, Kayque, Lineide, Lucas, Nunes, Portela, Robertinho, Tales, vocês me fizeram ter dias mais felizes e com certeza foram parte essencial para a produção desse trabalho.

Aos meus Mestres, irmãos e irmãs da capoeira em especial, Mestre Banjo, Mestre Ralil, Camaleão, Tempo e todos meus alunos.

Aos meus meninos *dozotu*: Gustavo, Luis, Leandro e Thiago, irmãos de vida que estiveram e sempre estarão comigo.

Agradeço também a todos os professores e funcionários da instituição Universidade de Brasília e da Fazenda Água Limpa da Universidade de Brasília, em especial ao professor Reginaldo por nos propocionar total acesso e facilitar nossa caminhada na FAL/UNB.

Não posso deixar de mencionar meus grandes amigos que essa universidade me trouxe, Cesar, Fabricío, Heloísa, Jhonatan, José, Julia, Larissa, Rodrigo Guerrieri, Rodrigo Werneck, Tatiana, Thaina, Willian, que compartilharam comigo momentos de estudo, trocas de ideias e experiências valiosas.

Por fim, dedico este trabalho a todas as pessoas que, de alguma forma, contribuíram para a minha formação acadêmica e pessoal. Seu suporte, compreensão e encorajamento foram essenciais para que eu pudesse superar obstáculos e alcançar este marco importante em minha vida.

Resumo

A topografia é uma ferramenta essencial para os profissionais de diversas áreas, como agronomia, pedologia, urbanismo, geologia, aquitetura, engenharia e cartografia. Ela pode ser aplicada para uma variedades de projetos, incluindo planejamento urbano, drenagem e irrigação, mapeamento ambiental e outros. A topografia fornece informações essenciais sobre o terreno, auxiliando na tomada de decisões e melhorando a eficiência de muitos trabalhos.Para uma melhor aquisição desse dados, são utilizados dados de alta resolução de drones que tem várias aplicações, como o monitoramento de barragens e do meio ambiente, planejamento urbano e construção de mapas. No contexto deste estudo, os resultados irão auxiliar um projeto de pesquisa, denominado GeoFluxo Platform to Assess the Risk of Loss of Aquifer Recharge (GeoPARLARe). Este projeto visa criar uma plataforma de mapeamento do potencial de recarga do aquífero da FAL/UnB, integrando dados espaciais e temporais.Nas últimas décadas, o avanço das tecnologias de SIG e SR tem permitido aos pesquisadores identificar de forma mais simples as zonas de recarga. Isso se deve à capacidade tecnológica de fornecer tendências espaciais e temporais como resultado de interferências antropogênicas em conjunto com diversos conjuntos de dados espaciais de diferentes disciplinas, incluindo hidrogeologia, geologia, engenharia ambiental e outras. Este estudo aborda uma pesquisa interdisciplinar em uma Bacia do Córrego Capetinga, localizada na Região Administrativa do Park Way na Fazenda Água Limpa (FAL/UnB). Com o emprego de ferramentas geotecnológicas (GNSS, RPA e LiDAR) foram realizados levantamento topográfico e produção de Modelos Digitais de Terreno. Foram obtidas as coordenadas dos pontos de controle e feita a verificação no processamento dos dados obtidos por *RPA* onde o *GSD* alcançado do laser e ortofoto foram de de 2,73 cm/pixel e 6,82 cm/pixel respectivamente. O processamento do voo teve como produto o MDT da área da Bacia, um MDS e uma Ortofoto. Os dados de uso do solo, altimetria, declividade, foram utilizados para uma análise multicritério pelo grupo GeoParlare.

Palavras-chave: LiDAR, aerofotogrametria, topografia, FAL/UnB, sensoriamento remoto

Abstract

Topography is an essential tool for professionals in various fields, such as agronomy, soil science, urban planning, geology, architecture, engineering, and cartography. It can be applied to a variety of projects, including urban planning, drainage and irrigation, environmental mapping, and others. Topography provides crucial information about the terrain, assisting in decision-making and improving the efficiency of many tasks. For better data acquisition, high-resolution drone data is used, which has various applications, such as monitoring dams and the environment, urban planning, and map construction. In the context of this study, the results will assist in a research project called GeoFluxo Platform to Assess the Risk of Loss of Aquifer Recharge (GeoPARLARe). This project aims to create a platform for mapping the potential aquifer recharge of FAL/UnB, integrating spatial and temporal data. In recent decades, the advancement of GIS and RS technologies has allowed researchers to identify recharge zones more easily. This is due to the technological capacity to provide spatial and temporal trends as a result of anthropogenic interferences along with various spatial data sets from different disciplines, including hydrogeology, geology, environmental engineering, and others. This study addresses interdisciplinary research in the Capetinga Stream Basin, located in the Park Way Administrative Region at the Fazenda Água Limpa (FAL/UnB). Geotechnological tools (GNSS, RPA, and LiDAR) were employed for topographic surveys and Digital Terrain Model production. The coordinates of control points were obtained, and verification was performed on the data processing obtained by the RPA, where the achieved GSD for the laser and orthophoto were 2.73 cm/pixel and 6.82 cm/pixel, respectively. The flight processing resulted in the DTM of the basin area, a DSM, and an Orthophoto. Land use data, altitude, and slope were used for a multicriteria analysis by the GeoParlare group.

Keywords: LiDAR, aerophotogrammetry, topography, FAL/UnB, remote sensing

Sumário

1 Introdução **1**

1.1 Objetivos 2

1.2 Justificativa 3

2 Referêncial Teórico **5**

2.1 Topografia 5

2.2 Recarga de Aquífero 6

2.3 Levantamento Topográfico 6

2.4 Fotogrametria 7

2.4.1 Levantamento Aerofotogramétrico 7

2.4.2 Ortofoto 8

2.5 Laser (LIDAR) 9

2.6 MDS e MDT 10

2.7 GNSS e RTK 11

2.8 VANTs e RPAs 14

2.9 Geotecnologias e Geoprocessamento 15

2.10 Sensoriamento Remoto 17

2.11 Sistema de Informações Geográficas (SIG) 22

2.12 Softwares Utilizados no Processamento de Imagens 24

2.12.1 ArcGIS Pro 24

2.12.2 AutoCAD 24

2.12.3 DJI Terra 24

2.12.4 Global Mapper 24

2.12.5 Agisoft Metashape 25

2.12.6 Riscan Pro 25

3 Materiais e Métodos **26**

3.1 Materiais 29

3.2 Métodos 31

3.2.1 Escolha da Área do Levantamento 31
3.2.2 Elaboração do Plano de Voo (Ortofoto) 33
3.2.3 Elaboração do Plano de Voo (Laser) 36
3.2.4 Organização dos Equipamentos 38
3.2.5 Produção dos Alvos 39
3.2.6 Rastreio dos pontos de Apoio com GNSS RTK 41
3.2.7 Realização do Voo 44
3.2.8 Metodologia Computacional 45
3.2.9 Organização e Descarga dos Dados 47
3.2.10 Geração da Ortofoto 47
3.2.11 Geração do Laser 52
3.2.12 Processamento do Laser 55
3.2.13 Geração do MDT e Curvas de Nível 59

4 Resultados **63**
4.1 Ortofoto 63
4.2 MDS e Curvas de Nível (Ortofoto) 65
4.3 MDT e Curvas de Nível (Laser) 68

5 Conclusão **71**

Referências **73**

Lista de Figuras

2.1 Sobreposição das fotos na linha de voo. 9
2.2 Diferença MDS(a) e MDT(b). 11
2.3 Sistema de Receptores GNSS RTK. 12
2.4 Coleta de pontos de controle do Sistema GNSS RTK. 12
2.5 Fluxograma do Serviço do PPP. 13
2.6 Principais atividades envolvidas em Geoprocessamento. 16
2.7 Diferentes resoluções Espaciais. 18
2.8 Espectrômetro e Faixa da luz visível. 19
2.9 Representação das Diferentes quantidades de Bits. 20
2.10 Resolução Temporal (17 anos): (a) Noroeste 2005 e (b) 2022. 21
2.11 Estrutura do Sistema de Informações Geográficas. 23

3.1 Metodologia do Plano de Voo e Processamento dos dados. 27
3.2 Metodologia das etapas computacionais. 28
3.3 Ferramentas utilizadas para a produção dos pontos de controle. 30
3.4 Equipamentos eletrônicos utilizados no aerolevantamento. 31
3.5 Mapa de Localização FAL-UnB. 32
3.6 Ponto de Decolagem do Aerolevantamento. 33
3.7 Área do Levantamento da Ortofoto e do Laser. 34
3.8 Área de voo da ortofoto da Bacia do Córrego Capetinga. 35
3.9 Linhas de voo e área do mapeamento da Ortofoto. 35
3.10 Informações da sobreposição das imagens da Ortofoto. 36
3.11 Velocidade do drone na aquisição das fotos. 36
3.12 GSD de aproximadamente 7cm. 37
3.13 Área do Voo Laser. 37
3.14 Altura e Velocidade do Voo Laser L1. 38
3.15 GDS e Densidade de ponto por m². 38
3.16 Equipamentos para o Aerolevantamento. 39
3.17 Equipe do Levantamento Matheus, Lucas e Erick. 40

3.18 Base GNSS. 40
3.19 Ponto de Controle. 41
3.20 Pontos de Controle distribuídos na Ortofoto. 42
3.21 Pontos de Controle 1 e 2. 42
3.22 Pontos de Controle 3 a 6. 43
3.23 Pontos de Controle 7 a 10. 43
3.24 Ponto de Controle em local conhecido. 44
3.25 Matrice 300 - Primeira Linha de Voo. 45
3.26 Drone Matrice 300 e Pack com 8 Baterias. 46
3.27 Base RTK DJI. 46
3.28 Organização das Pastas. 47
3.29 Voos realizados e dados adquiridos. 48
3.30 Fotos adicionadas aos AGISoft. 48
3.31 Mudança de Sistema de Coordenadas. 49
3.32 Mudança de Sistema de Coordenadas. 49
3.33 Pontos Hvs. 50
3.34 Tabela de Pontos Hvs. 50
3.35 Pontos HVs com erro corrigido. 51
3.36 Pontos HVs com erro corrigido. 51
3.37 Projeto para a produção de Nuvem de Pontos. 52
3.38 Correção do Sistema de Coordenadas. 53
3.39 Coordenadas da Base do Laser. 54
3.40 Altura da antena da Base: 2 metros. 54
3.41 Laser da Bacia do Córrego Capetinga. 55
3.42 Nuvem Bruta. 55
3.43 Mudanças de referência da nuvem de pontos no Software. 56
3.44 Importação da Nuvem de Pontos. 57
3.45 Nuvem de pontos bruta passando pelo processo de filtragem. 58
3.46 Nuvem de pontos processada. 58
3.47 Nuvem de pontos aplicado o Smooth. 59
3.48 Nuvem de pontos filtrada na conferência de pontos e altitude. 60
3.49 Limites e Pontos (XYZ), para a produção do MDT. 61
3.50 Resultado do processamento do XYZ e Limite. 61

4.1 Carta imagem da Ortofoto da Região da Bacia do Córrego Capetinga. 64
4.2 Carta do MDS gerado pela nuvem de pontos da Ortofoto. 66
4.3 Carta das curvas de nível de 1m. 67
4.4 Carta do MDT gerado pelo Lidar. 69

4.5 Carta das curvas de nível de 50cm. 70

Lista de Tabelas

2.1 Distância e tempo relativo para o rastreio do GNSS RTK. 14
2.2 Classificação dos RPAs por peso máximo de decolagem. 15

3.1 Ferramentas utilizadas para a produção dos pontos de controle. 29
3.2 Equipamentos eletrônicos utilizados no aerolevantamento. 30
3.3 Localização FAL/UnB em Coordenadas Geográficas e em SIRGAS 2000 UTM 23S 32

Lista de Abreviações, Siglas e Símbolos

2D Duas Dimensões

3D Três Dimensões

ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas

ADM Análise de Decisão Multicritério

AMAD Avaliação Multicritério de Apoio de Decisão

ANAC Agência Nacional de Aviação Civil

ANATEL Agência Nacional de Telecomunicações

CAD Desenho Assistido por Computador

ENC Departamento de Engenharia Ambiental

FAL Fazenda Água Limpa

FT Faculdade de Tecnologia

GeoPARLARe GeoFluxo Platform to Assess the Risk of Loss of Aquifer Recharge

GNSS Global Navigation Satellite Systems

HVS Humam Vison System

INPE Instituto Nacional de Pesquisa Espaciais

MDE Modelo Digital de Elevação

MDT Modelo Digital de Terreno

MDS Modelo Digital de Superfície

NBR Normas Brasileiras

ND Número Digital

PPP Posicionamento por Ponto Preciso

RPAS Remotely Piloted Aircraft Systems

RTK Real Time Kinemati

SIG Sistema de Informações Geográfica

SR Senosoriamento Remoto

TIN Trinagular Irregular Network

UnB Universidade de Brasília

1. Introdução

O desejo incansável de adquirir conhecimento é uma característica intrínseca da humanidade. Desde a pré-história, nossa espécie tem migrado, aprendendo com experiências novas e diversificadas. Este movimento constante destacou a necessidade crucial de compreender e navegar pelo território em que vivemos. Essa compreensão era fundamental para a caça de alimentos, a defesa contra animais, a exploração de novas regiões, a condução de guerras, a realização de construções e a comunicação. Assim, tornou-se essencial conhecer e descrever a área habitada (McCormac, 1989).

Portanto, a topografia, derivada do grego *topos* (lugar) e *graphen* (descrever), é essencial para descrever um local especificado. Hoje existem muitas interpretações para a palavra topografia. Para Doubek (1989), é o estudo dos instrumentos e métodos utilizados para representar graficamente um segmento do terreno em uma superfície plana. Enquanto isso, McCormac (1989) afirma que a topografia é a ciência que estabelece as dimensões e contornos da superfície terrestre por meio de medições de distâncias, direções e altitudes, incluindo também o cálculo de áreas, volumes e a criação de mapas e diagramas. A partir dos autores mencionados, podemos concluir que o objetivo principal do levantamento topográfico é realizar medições de ângulos, distâncias e desníveis que permitam representar uma área da superfície terrestre em uma escala adequada.

A topografia tem suas raízes na história antiga. Os egípcios e mesopotâmicos foram os primeiros a desenvolver e usar instrumentos topográficos, seguidos pelos chineses, hebreus, gregos e romanos (Coelho Júnior et al., 2020). Embora a data exata de sua origem seja incerta, é provável que a topografia tenha sido utilizada muito antes de 3200 a.C. A Pirâmide de Quéops, construída pelos egípcios, é um exemplo de precisão notável na aplicação de medições topográficas.

Nos dias de hoje, a topografia é uma ferramenta essencial para profissionais de diversas áreas, como geologia, arquitetura, engenharia e cartografia. É aplicada em uma variedade de projetos, incluindo reflorestamento, mapeamento ambiental e florestal, grandes obras de engenharia, planejamento urbano, drenagem e irrigação, apenas para citar alguns. A topografia fornece informações essenciais sobre o terreno, auxiliando na tomada de decisões e melhorando a eficiência de muitos trabalhos.

Analisar a forma do terreno é fundamental para entender os processos físicos, químicos e biológicos que ocorrem no solo (Jacek, 1997). Isso tem implicações significativas para a gestão sustentável dos recursos naturais e para a prevenção de desastres naturais. A compreensão da topografia também é vital para entender a drenagem e o abastecimento hídrico, uma vez que fornece *insights* sobre as áreas de maior declividade que influenciam na distribuição e fluxo de água, tanto superficial como subterrânea. A avaliação das configurações de recarga de águas subterrâneas requer a avaliação de vários fatores geoespaciais baseados em princípios científicos analíticos (Malczewski and Rinner, 2015).

A evolução das tecnologias de Sistemas de Informação Geográficas (SIG) e Sensoriamento Remoto (SR) tem facilitado a identificação de zonas de recarga de aquíferos pelos pesquisadores. Isso ocorre devido à capacidade dessas tecnologias de fornecer tendências espaciais e temporais como resultado de interferências antropogênicas, combinadas com vários conjuntos de dados espaciais de diferentes disciplinas, como a hidrogeologia e a geologia (Boroushaki and Malczewski, 2008). A topografia pode incorporar vários fatores espaciais influentes, como cobertura e uso do solo, elevações, declividades, clima, densidade de lineamentos, litologia, dados de solos, entre outros, mas em combinações adequadas (Lentswe and Molwalefhe, 2020).

Assim, ao entender a importância dos aquíferos para o abastecimento de córregos, lagos, rios e da população, fornecer dados do levantamento topográfico da região da Bacia do Córrego Capetinga torna-se um importante instrumento para auxiliar a tomada de decisões no estudo do potencial de recarga superficial de aquíferos.

Finalmente, é importante entender a recarga dos aquíferos para compreender a interconexão dos sistemas hídricos, tanto superficiais quanto subterrâneos. Precisamos entender a dinâmica ambiental para gerenciar de forma sustentável os recursos hídricos do território e prevenir crises hídricas. Isso inclui considerar fatores como padrões de precipitação, características geológicas e pedológicas da região e uso da terra. Os resultados desta pesquisa, como ortofotos, modelos digitais de terreno (MDT) e curvas de nível, serão usados como dados de entrada para uma análise multicritério de apoio à decisão (AMAD) para buscar a tomada de decisões com base em diversas informações, além de criar mapas de uso e cobertura do solo e declividade.

1.1 Objetivos

Este trabalho tem como objetivo geral realizar um levantamento topográfico na região da Bacia do Córrego Capetinga, localizada na Região Administrativa do Park Way na Fazenda Água Limpa (FAL/UnB), usando aerolevantamento com um Drone Matrice 300. O levantamento vai gerar diversos produtos, como um modelo digital de terreno e superfície, curvas de nível, uma nuvem de pontos e ortofotos.

Os objetivos específicos incluem:

- Fazer o aerolevantamento da região utilizando o drone;
- Elaborar cartas de altimetria com base nos os dados gerados a a partir da fotogrametria e do lidar;
- Produzir curvas de nível para á area que delimita a bacia.

1.2 Justificativa

A utilização de dados de alta resolução de drones tem várias aplicações, como o monitoramento de barragens e do meio ambiente, planejamento urbano e construção de mapas. No contexto deste estudo, os resultados irão auxiliar um projeto de pesquisa, denominado *Geo-Fluxo Platform to Assess the Risk of Loss of Aquifer Recharge* (GeoPARLARe). Este projeto visa criar uma plataforma de mapeamento do potencial de recarga do aquífero da FAL/UnB, integrando dados espaciais e temporais. O projeto é importante porque fornece base técnica e monitoramento inteligente das propriedades do solo e da atmosfera, facilitando seu uso e disponibilidade para a sociedade.

O estudo da recarga de aquíferos é complexo e depende de muitas variáveis, incluindo o clima, propriedades do solo como a condutividade hidráulica e o teor de umidade, vegetação, geologia, geomorfologia e formas de uso e ocupação da região (Campos and Gonçalves, 2015). A compreensão desses sistemas hídricos, tanto superficiais quanto subterrâneos, é essencial para a gestão sustentável dos recursos hídricos e para mitigar crises hídricas.

Nas últimas décadas, o avanço das tecnologias de SIG e SR tem permitido aos pesquisadores identificar de forma mais simples as zonas de recarga. Isso se deve à capacidade tecnológica de fornecer tendências espaciais e temporais como resultado de interferências antropogênicas em conjunto com diversos conjuntos de dados espaciais de diferentes disciplinas, incluindo hidrogeologia, geologia, engenharia ambiental e outras (Boroushaki and Malczewski, 2008).

Essas tecnologias têm demonstrado eficiência no monitoramento e avaliação dos recursos hídricos subterrâneos, bem como competências para análises de decisão multicritério (Makonyo and Msabi, 2022) (Mussa et al., 2020).

Isso tem incorporado vários fatores espaciais influentes, incluindo uso do solo, elevações, declividades, clima, densidade de lineamentos, litologia, dados do solo, entre outros, em diferentes combinações adequadas (Lentswe and Molwalefhe, 2020). Da mesma forma, técnicas de AMAD são amplamente aplicadas para integrar características socioeconômicas e ambientais na análise de desafios espaciais multifacetados envolvendo fatores contraditórios (Arulbalaji et al., 2019).

Dessa forma, os produtos gerados por este estudo, como as ortofotos e o Modelo Digital de Terreno (MDT), serão usados para gerar mapas de uso e cobertura do solo e de declividade.

Estes dados também serão usados para o apoio de uma ADM e deve ajudar na decisão para a identificar o melhor potencial de recarga de aquífero na região da Fazenda Água Limpa.

Isso é crucial, pois as áreas disponíveis para infiltração são diretamente afetadas pelo grau de impermeabilização da superfície e a inclinação do terreno influencia a quantidade de água que será escoada e infiltrada no solo.

2. Referêncial Teórico

Este capítulo tem como objetivo revisar os principais aspectos relativos às etapas desenvolvidas para a execução do aerolevantamento da região da Bacia do Córrego Capetinga.

Desse modo, serão abordados os conceitos de topografia, fotogrametria, ortofoto, lidar (*ligth detetion and ranging*), GNSS (*Global Navigation Satellite Systems*) e RTK (*Real Time Kinematic*) com objetivo de elucidar os conhecimentos sobre cada um desses temas e sua importância para a aplicação de técnicas de levantamento topográficos e aerolevantamentos. Além disso, também vamos falar sobre os conceitos de geoprocessamento de dados, geotecnologias com o intuito de detalhar os assuntos como: sistemas de informações geográficas (SIG), sensoriamento remoto (SR). E por fim, será abordado temas como MDT (modelo digital de terreno), MDS (modelo digital de superfície), curvas de nível que tem como objetivo mostrar os resultados das aquisições e os processamentos realizados para a geração dos produtos digitais cartográficos.

2.1 Topografia

A topografia tem por finalidade determinar o contorno, dimensão e posição relativa de uma porção limitada da superfície terrestre, sem levar em conta a curvatura resultante da esfericidade terrestre (Espartel, 1965). Para Kahmen and Faig (2012), a topografia, trabalha com medidas lineares e angulares sobre o globo terrestre. Partindo dessa medidas , podem ser calculadas áreas, volumes, coordenadas e outras grandezas. Desse modo, para se obter bons resultados é necessário um conhecimento sólido sobre instrumentos de medição, técnicas de medição, métodos de cálculo e estimativa de precisão.

Dessa forma, com a ajuda de novas tecnologias e evolução das técnicas utilizadas para que o trabalho seja executado em menos tempo e o resultado final tenha uma maior qualidade, hoje são utilizados os RPAs. Essas ferramentas permitem coletar dados precisos e de alta resolução em áreas de difícil acesso. Além disso, os RPAS podem ser equipados com diferentes tipos de sensores, como câmeras , lidar e multiespectrais fornecer dados diversos para análises. Por isso, hoje os drones são amplamente utilizados em projetos de construção, planejamento territorial, drenagem urbana e diversos outros empreendimentos.

2.2 Recarga de Aquífero

A utilização das águas subterrâneas é importante para suprir a demanda crescente da urbanização, industrialização rápida, crescimento populacional e agricultura, especialmente em regiões áridas e semiáridas. Em termos de volume, os recursos de águas subterrâneas do mundo são cerca de 33 vezes maiores do que os recursos de água superficial de lagos e rios (Healy et al., 2007).

Consequentemente, as águas subterrâneas se tornaram um componente importante no gerenciamento de água na maioria das comunidades rurais em zonas áridas e semiáridas. Ao contrário dos recursos de água superficial, as águas subterrâneas podem estar localizadas próximas ao ponto de necessidade, possuem boa qualidade e são resilientes às condições climáticas em constante mudança. Compreender a recarga das águas subterrâneas é, portanto, muito importante para o gerenciamento eficiente e sustentável dos recursos hídricos subterrâneos (De Vries and Simmers, 2002).

A recarga refere-se à infiltração da água até o lençol freático, reabastecendo assim o reservatório de águas subterrâneas. Esse mecanismo envolve a movimentação descendente da água em excesso do solo (acima da umidade do solo), o que ocorre em solos e rochas permeáveis quando a taxa de infiltração excede o escoamento superficial e a evaporação. As áreas de recarga são regiões onde a água pode infiltrar-se ou percolar para o subsolo, reabastecendo aquíferos, devido à ausência de uma camada confinante.

A recarga natural ocorre principalmente em solos bem drenados com depressões topográficas e plantas de raízes rasas (Freeze and Cherry, 1979; Lentswe and Molwalefhe, 2020). Assim, a identificação, monitoramento e proteção das zonas de recarga são inevitáveis para tomar uma decisão informada sobre estratégias de desenvolvimento dos recursos de águas subterrâneas.

Dessa Forma, o levantamento topográfico é essencial para a produção de dados de elevação uso do solo, declividade, para o estudo para AMAD da recarga de aquífero feito pelo grupo GeoParlare na região da Bacia do Córrego Capetinga.

2.3 Levantamento Topográfico

De acordo com a NBR 13133 (ABNT, 2021), o levantamento topográfico é o conjunto de técnicas que implanta e determina as coordenadas de pontos de apoio no terreno através do uso de equipamentos adequados para a precisão desejada. Esses pontos são relacionados às medições de ângulos horizontais e verticais, distâncias horizontais, verticais e inclinadas conados aos pontos de detalhe para garantir sua exata representação planimétrica numa escala pré-determinada e sua representação altimétrica através de curvas de nível com uma equidistância pré-determinada e/ou pontos cotados.

Desse modo, tem-se dentro do levantamento topográfico três divisões: planimétrico, altimétrico e planialtimétrico.

Para Veiga et al. (2012a), o levantamento topográfico planimétrico é um método de medição de ângulos e distâncias horizontais para obter a representação das dimensões horizontais de uma área, sem levar em conta o relevo do terreno. Representado em um plano cartesiano, as coordenadas requeridas são "X"e "Y", relacionadas a uma origem pré-determinada.

O levantamento topográfico altimétrico é responsável por determinar o relevo do terreno através da coordenada "Z"no plano cartesiano. Segundo a NBR 13133 (ABNT, 2021), este tipo de levantamento tem como objetivo exclusivo a determinação das alturas relativas a uma superfície de referência, como o plano local, elipsoide ou geoide. Isso é feito através da medição dos pontos de apoio e/ou dos pontos de detalhes, pressupondo-se o conhecimento de suas posições planimétricas, visando à representação altimétrica da superfície levantada.

Por fim, o levantamento planialtimétrico é um método que permite obter as coordenadas horizontais (X, Y) e vertical (Z) do terreno em uma única representação é apresentado em conjunto com o levantamento planimétrico e altimétrico, é obtido uma representação tridimensional da área levantada.

2.4 Fotogrametria

A fotogrametria é, segundo a *American Society for Photogrammetry and Remote Sensing* (ASP et al., 1980), a arte, a ciência, e a tecnologia de obtenção de informações confiáveis sobre os objetos físicos e o meio ambiente através de processos de gravação, medição e interpretação de imagens fotográficas e padrões da energia eletromagnética radiante e outros fenômenos.

Segundo Ribeiro (1995), o avanço tecnológico nos últimos anos, especialmente no desenvolvimento de métodos e processos computacionais, levou ao surgimento da fotogrametria digital

2.4.1 Levantamento Aerofotogramétrico

De acordo com Veiga et al. (2012b), o uso da fotogrametria digital permite a obtenção de dados topográficos de alta precisão e qualidade, além de ser uma técnica mais rápida e econômica do que os métodos tradicionais de levantamento topográfico. Além disso, aerofotogramétrico é uma técnica utilizada para mapear e medir a superfície terrestre a partir de imagens obtidas por meio de aeronaves. Este método permite a obtenção de dados precisos e detalhados sobre o terreno, incluindo informações topográficas, geomorfológicas e geográficas. Desse modo, o levantamento aerofotogramétrico é composto de três etapas principais: a aquisição de imagens, a interpretação das imagens e a elaboração do mapa (Melo, 2014).

Na primeira etapa, ainda segundo Melo (2014), as imagens são obtidas por meio de voos programados, utilizando câmeras fotográficas especiais instaladas em aeronaves. Essas câmeras

possuem características específicas, como distância focal, ângulo de visão e resolução, que permitem a obtenção de imagens de alta qualidade.

Na segunda etapa, como ensina Melo (2014), as imagens são interpretadas, utilizando softwares especializados, com o objetivo de identificar e mapear os elementos presentes na superfície terrestre. Esses elementos podem incluir características topográficas, como montanhas, rios e vales, além de elementos *man-made*, como edifícios, estradas e vegetação.

Melo (2014) nos diz, que na terceira etapa, os dados coletados são utilizados para elaborar mapas precisos e detalhados da área estudada. Esses mapas podem ser utilizados para diversos fins, como planejamento urbano, gestão ambiental, planejamento de transporte, entre outros.

Como apresenta Paredes (1987), para o sucesso de um levantamento fotogramétrico, a programação do voo deve ser pensada e elaborada de forma minuciosa, levando em consideração a cobertura aerofotográfica de toda a área do terreno, cujo será executado o levantamento topográfico.

Como ensina Fontes (2005), a cobertura aerofotogramétrica é um processo utilizado para mapear uma região específica através de fotografias aéreas. O objetivo principal é obter uma visão completa da área em questão, sendo capaz de detalhar as características geográficas e topográficas.

Ainda segundo Fontes (2005), as linhas de voo são planejadas de ta maneira que seja possível obter uma faixa de de voo comum entre as áreas fotografadas, essa região tem um espaçamento lateral entre 20% e 30%. Essas regiões comuns, resultantes da sobreposição entre faixas no sentindo transversal à direção do voo, são denominadas de recobrimento lateral ou transversal como pode se ver na Fig. 2.1. Além disso, cada fotografia tomada ao longo de uma linha de voo cobre uma área que se superpõe à área coberta pela fotografia anterior em aproximadamente 60%. Essa superposição entre as áreas fotografadas consecutivamente é denominada de recobrimento longitudinal. No caso de uma cobertura aerofotogramétrica cuja finalidade é a obtenção de ortofotos, a taxa de recobrimento longitudinal é de 80%.

2.4.2 Ortofoto

Para Costa and Amorim (2009), as ortofotos são uma valiosa ferramenta na área de cartografia e geoprocessamento. Elas são geradas a partir de um processo chamado retificação diferencial, que elimina os deslocamentos causados pela deformação perspectiva, inclinação da câmera fotográfica e variação de relevo do objeto fotografado.

A deformação perspectiva é a distorção causada pela projeção de uma imagem em um plano bidimensional. A inclinação da câmera fotográfica em relação ao objeto fotografado também pode causar distorções, pois as partes mais altas do objeto aparecerão maiores do que as partes mais baixas. Além disso, a variação de relevo do objeto também pode causar deslocamentos na imagem. Desse modo, ao eliminar esses deslocamentos, as ortofotos se tornam um produto

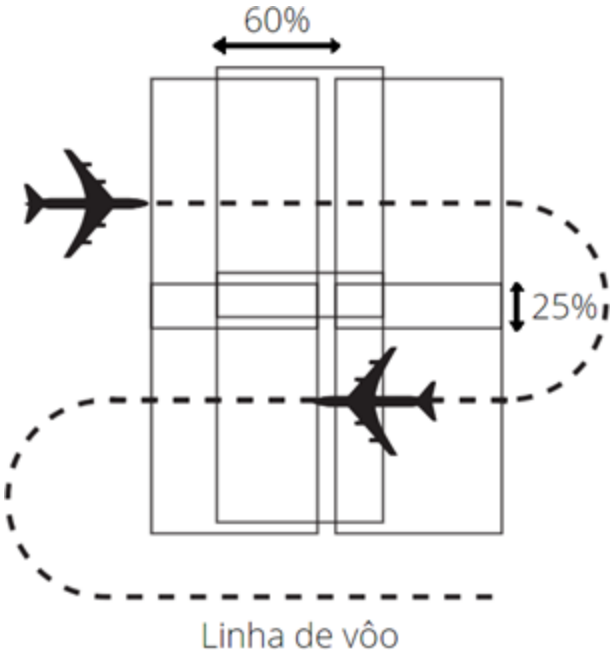


Figura 2.1: Sobreposição das fotos na linha de voo. Modificado de Silva Junior (2019)

fotogramétrico altamente preciso e útil para diversas aplicações, como mapeamento de áreas urbanas e rurais, monitoramento ambiental, planejamento territorial e outras.

Dessa forma, temos que da Silva and Dalmolin (2000) nos ensina, que a ortofoto é um tipo de imagem que representa objetos em uma projeção ortogonal, diferente do que faz uma fotografia que usa uma projeção central. Assim, na projeção ortogonal, o centro perspectivo é deslocado para o infinito, fazendo com que as projetantes sejam paralelas e mantenham a verdadeira posição ortográficas dos objetos. Por este motivo, as ortofotos são equivalentes a mapas de linhas, uma vez que as mesmas representam objetos de forma geométrica precisa e com uma visualização clara e objetiva.

2.5 Laser (LIDAR)

LIDAR (*Light Detection and Ranging*) é uma tecnologia de medição a distância que utiliza um laser para medir distâncias e criar modelos tridimensionais de objetos e ambientes (Wutke and Centeno, 2007). Ele é amplamente utilizado em aplicações como geolocalização, topografia, cartografia, agricultura, arqueologia, robótica, automóveis autônomos e mapeamento de nuvens.

LIDAR usadas para criar um modelo tridimensional do ambiente. Os sensores LIDAR também podem medir a velocidade de objetos em movimento e detectar objetos que estejam em movimento. dos Santos et al. (2014), diz que a tecnologia pode ser instalada em plataformas aéreas, conhecida como laser scanner aerotransportado (LSA), ou em plataformas terrestres,

denominadas laser scanner terrestre (LST). Uma das principais vantagens deste equipamento é a sua capacidade de coletar uma alta densidade de pontos amostrais com elevada precisão e em curtos intervalos de tempo.

Os sistemas LIDAR podem ser classificados em dois tipos: os sistemas LIDAR passivos e os sistemas LIDAR ativos. Os sistemas LIDAR passivos detectam a luz natural refletida pelo ambiente, enquanto os sistemas LIDAR ativos emitem seus próprios raios laser para medir a distância. Assim, como ensina Pacheco et al. (2011), o desenvolvimento e produção de metodologias para o processamento de dados de LIDAR estão permitindo uma maior aplicação pratica e operacional nos estudos de topografia, agricultura, engenharia e meio ambiente. Desse forma, também vem sendo confirmado como alternativa viável à aquisição de automática de MDT para o mapeamento de grandes escalas e alta acurácia.

2.6 MDS e MDT

Dantas (2019) diz que a terminologia modelo digital de elevação (MDE, ou DEM: digital elevation model, em inglês) refere-se a uma representação tridimensional precisa da superfície terrestre, incluindo informações tanto sobre o terreno exposto quanto sobre as características acima dele. Dessa forma, proporciona uma compreensão completa dos valores de elevação topográfica. Em sistemas de informação geográfica (SIG), dois tipos de MDEs são comumente utilizados: o modelo digital de superfície (MDS) e o modelo digital de terreno (MDT). Ambos oferecem diferentes níveis de detalhamento e precisão, permitindo aos usuários selecionar o modelo mais adequado para suas necessidades específicas.

Em resumo, o MDS representa a superfície da terra incluindo as características acima dela como árvores, construções e estruturas artificias. Esse recurso é utilizado em SIG para fornecer uma compreensão completa dos valores de elevação topográfica. O MDT por sua vez é a representação apenas da superfície exposta do terreno. Ele é utilizado no SIG para fornecer valores de elevação topografica e geralmente é mais preciso que o MDS. Essa representação do terreno é valiosa para geração de produtos como curvas de nível a ortoimagens (Carrilho, 2016). Na Fig. 2.2 temos a representação de ambos os modelos de modo que facilite o entendimento do produto gerado por cada informação.

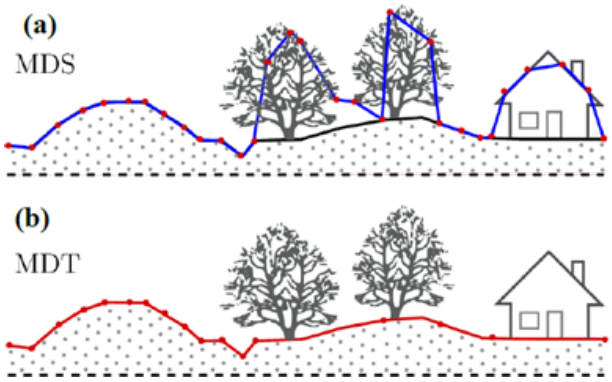


Figura 2.2: Diferença MDS(a) e MDT(b). Fonte: Carrilho (2016).

2.7 GNSS e RTK

GNSS (*Global Navigation Satellite Systems*) é um sistema que permite informar o posicionamento e navegação utilizando sinais de rádio emitidos por satélites. O Sistema de GNSS mais conhecido é o GPS (Global Positioning System) desenvolvido pelos Estados Unidos. Existem outros sistemas semelhantes como o GLONASS, compostos de 24 satelites e desenvolvida pela Rússia, o Galileo, elaborado pela união europeia e outros.

A técnica RTK (*Real Time Kinematic*) é utilizada para medir distâncias entre antenas GNSS com alta precisão. Ela utiliza tanto as medições das fases das portadoras quanto as pseudodistâncias (código) para calcular as distâncias. Com a comunicação em tempo real entre o receptor base e o receptor móvel, as correções são transmitidas em tempo real, permitindo precisão até 1cm. Para garantir a relação espacial equivalente entre todos os pontos, é necessário definir um sistema de coordenadas, que são valores lineares ou angulares que indicam a posição de cada ponto, possibilitando a medição de várias coordenadas.

O Sistema GNSS RTK é composto por duas antenas receptoras, uma conhecida como base e a outra conhecida como móvel, existindo vários modelos (Fig. 2.3). Nessa técnica são utilizados dois receptores, um receptor estacionário (base) e um receptor móvel (rover). O primeiro, permanece estático, possui coordenada conhecida e calcula constantemente os erros e executa transmissão de correções de coordenadas para o receptor móvel. O rover, é transportado ponto a ponto durante a coleta de dados. Essa tecnologia, ao contrário dos equipamentos tradicionais, não demanda visibilidade entre estações, o que reduz demandas de tempo e equipe técnica (Jacobs, 2005).

A operação do sistema de navegação por satélite com correção relativa em tempo real (GNSS RTK) requer a instalação de uma base niveladora em um tripé, a conexão de uma antena e a alinhamento do conjunto sobre um ponto de coordenadas conhecido (Fig. 2.4). Em seguida, é necessário iniciar a captura das informações das constelações de satélites do sistema através de aplicativos específicos e transmiti-las para a antena móvel, que geralmente é do mesmo mo-



Figura 2.3: Sistema de Receptores GNSS RTK. Fonte: ANAC (2023a).

delo da base. A antena móvel não possui um rádio interno para a transmissão do sinal de rádio, pois seu papel é apenas o de receptor das correções.

Conforme Segantine and Silva (2015), o levantamento topográfico utilizando GNSS RTK, permite o cadastramento de detalhes e a locação de obras com agilidade e acurácia, principalmente por não necessitar ser visada.

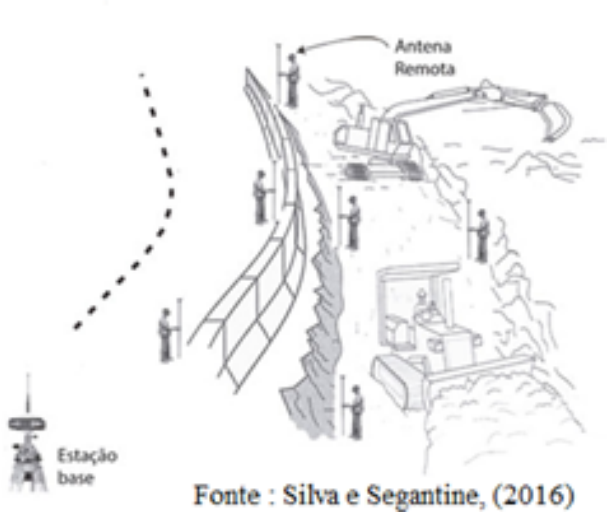


Figura 2.4: Coleta de pontos de controle do Sistema GNSS RTK. Fonte: Segantine and Silva (2015).

O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) oferece o serviço de Posicionamento por Ponto Preciso (PPP) para o processamento de bases de dados coletados por receptores GNSS, tanto no modo estático quanto no modo cinemático. Este é um serviço de pós-processamento de dados disponibilizado gratuitamente aos usuários, que permite a obtenção

de coordenadas referenciadas ao Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS2000).

Para utilizar o serviço, é necessário fornecer ao IBGE um arquivo de observações no formato RINEX ou HATANAKA, gerado por receptores de uma ou duas frequências, informar se as observações que foram realizadas no modo estático ou cinemático, modelo de antena utilizada e altura em que a antena foi instalada. Além disso, é necessário fornecer um endereço de e-mail para recebimento dos resultados. O funcionamento do serviço é descrito no fluxograma disponibilizado pelo IBGE (Fig. 2.5).

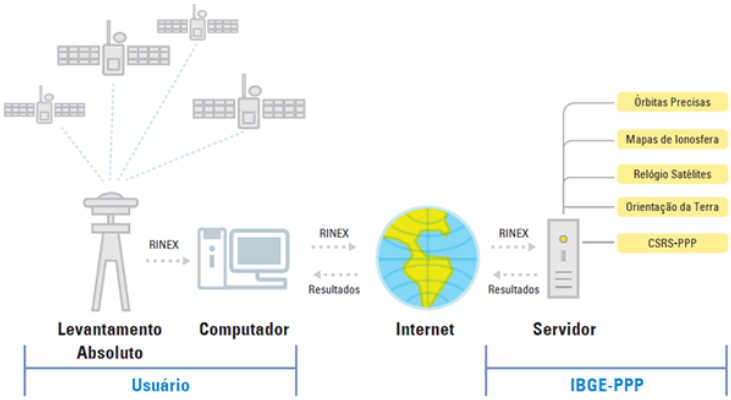


Figura 2.5: Fluxograma do Serviço do PPP. Fonte: IBGE (2022).

É importante notar que o PPP é um método de pós-processamento, o que significa que as observações devem ser coletadas primeiro e então processadas para obter as coordenadas finais. Além disso, o serviço é fundamentado em soluções de pós-processamento, portanto, não oferece correções em tempo real.

Para a aquisição desses dados, existe uma variação de tempo de acordo com a distância que a antena de rastreamento 24 horas do SGB, operada pelo IBGE e a distância da base do usuário (Aquino et al., 2013). Na Tab. 2.1, pode-se observar as distâncias que devem ser observadas pelo usuário.

Tabela 2.1: Distância e tempo relativo para o rastreio do GNSS RTK.

Linha de Base (km)	Tempo Mínimo (minutos)	Observáveis	Solução da Ambiguidade	Efeméride
0 - 10	20	L1 ou L1/L2	Fixa	Transmitidas ou Precisas
10 - 20	30	L1/L2	Fixa	Transmitidas ou Precisas
10 - 20	60	L1	Fixa	Transmitidas ou Precisas
20 - 10	120	L1/L2	Fixa	Transmitidas ou Precisas
100 - 500	240	L1/L2	Fixa	Precisas
500 - 1000	480	L1/L2	Fixa ou Flutuante	Precisas

2.8 VANTs e RPAs

Os veículos aéreos não tripulados (VANTs), as aeronaves remotamente pilotadas (RPAs), os *remotely piloted aircraft* (RPA) são nomes que variam dependendo da área que está estudando sobre o equipamento. Os VANTs, do inglês UAV (*unmanned aerial vehicle*) estão em acensão nos últimos 10 anos. Essa sigla VANTs engloba todos os veículos aéreos remotamente pilotados.

Segundo a Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC, 2023b), o termo "drone"é amplamente utilizado para descrever qualquer veículo aéreo equipado com alto grau de automatismo, incluindo aeromodelos e aeronaves não tripuladas remotamente pilotadas (RPA). Esses veículos podem ser controlados remotamente ou seguir uma rota pré-programada, e são utilizados em uma variedade de aplicações, desde vigilância e monitoramento até entrega de mercadorias e pesquisa científica. A tecnologia dos drones tem evoluído rapidamente nos últimos anos, permitindo aos usuários uma maior precisão e autonomia. No entanto, os desafios regulatórios e de segurança continuam a ser uma preocupação importante para a indústria de drones.

Conforme Rodrigues (2020), os VANTs surgiram como ferramentas militares durante a Segunda Guerra Mundial, sendo utilizados para reconhecimento, fotografia de bases inimigas e bombardeios. Durante este período, o enfoque do desenvolvimento dos VANTs foi voltado para a capacidade de serem carregados com explosivos e lançados em território inimigo, funcionando de forma semelhante a um míssil, mas sendo controlados remotamente. Esta foi a ideia principal e inovadora da época, permitindo aos militares uma maior precisão e segurança.

Com os anos e estudos, a aplicação de VANTs se desenvolveu e tem sido empregada em atividades como: vigilância, segurança, sensoriamento remoto, monitoramento, observação e manutenção (Eisenbeiss et al., 2004). A ANAC define em sua cartilha *"Orientações para Usuá-*

rios de Drones" três tipos de operação, definidas a partir da visibilidade do RPA, e três classes, que variam com o peso máximo de decolagem desse equipamento. Segundo ANAC (2023b), quanto ao tipo a operação pode ser enquadrada como:

- BVLOS - mesmo com a ajuda de um observador o piloto não consegue manter o RPA dentro do campo visual;
- VLOS - é possível ao operador manter contato visual direto com o RPA sem necessidade de qualquer equipamento;
- EVLOS - operação em que o contato visual apenas é possível com auxílio de lentes, outros equipamentos ou presença de um observador de RPA.

Pode-se observar na Tabela 2.2, a classificação dos RPAS de acordo com seu peso máximo de decolagem.

Tabela 2.2: Classificação dos RPAs por peso máximo de decolagem. Fonte: ANAC (2023b).

Classe	**Peso máximo de decolagem (kg)**
Classe 1 - RPA	Maior que 150 kg
Classe 2 - RPA	Maior que 25 kg e até 150 kg
Classe 3 - RPA	Até 25 kg

Por fim, de acordo com a ANAC as operações com drones só podem ser iniciadas se houver autonomia suficiente para a realização do voo e pouso seguro no local previsto, levando-se em conta as condições meteorológicas existentes. As operações com aeronaves das classes 1 e 2 precisam de registro prévio junto a ANAC, enquanto as aeronaves da classe 3 estão dispensadas deste procedimento.

2.9 Geotecnologias e Geoprocessamento

As geotecnologias são um conjunto de tecnologias que utilizam informações geográficas e espaciais para coletar, armazenar, analisar, processar e visualizar dados. Dentre elas estão incluídas tecnologias como Sistema de Informações Geográficas (SIG), sensoriamento remoto, imagem de satélite, (MDT) e navegação por satélite. Além disso, as geotecnologias são compostas por soluções em *hardware*, *software* e *peopleware* que juntos constituem poderosas ferramentas para tomada de decisões e são igualmente conhecidas como "geoprocessamento" (Rosa and Brito, 2013).

Neste contexto, fazem parte das geotecnologias uma ampla gama de tecnologias, como sistemas de posicionamento global (GPS), cartografia digital, tecnologias de nuvem e outras.

Essas tecnologias permitem a coleta de dados precisos e atualizados sobre a superfície da Terra, incluindo informações sobre a topografia, a vegetação, as características do solo, as condições meteorológicas e outros aspectos importantes.

O geoprocessamento é uma área da geociência que utiliza tecnologias de informações geográficas para coletar, processar, armazenar, analisar e visualizar dados espaciais. Ele tem sido utilizado há muito tempo para solucionar problemas geográficos e tomar decisões baseadas em informações geográficas. Assim, com o objetivo de melhor compreender o termo, Rosa and Brito (2013) considera que: "o geoprocessamento pode ser definido como sendo o conjunto de tecnologias destinadas a coleta e tratamento de informações espaciais, assim como o desenvolvimento de novos sistemas e aplicações, com diferentes níveis de sofisticação".

Desse modo, como ensina Fitz (2008), o geoprocessamento tem o objetivo de tratar e analisar um conjunto de dados geográficos, por meio de ferramentas computacionais.

Assim, pode-se inferir segundo os autores que o geoprocessamento é um conjunto de tecnologias e ferramentas computacionais com o intuito de facilitar a compreensão dos dados geográficos. Além disso, o geoprocessamento envolve o uso de (SIG), que são plataformas que permitem a visualização, análise e manipulação de dados espaciais. Esses sistemas são compostos por bases de dados geográficos, ferramentas de análise e programas de visualização, que permitem aos usuários manipular e interpretar os dados de maneira mais eficiente como é apresentado na Fig. 2.6.

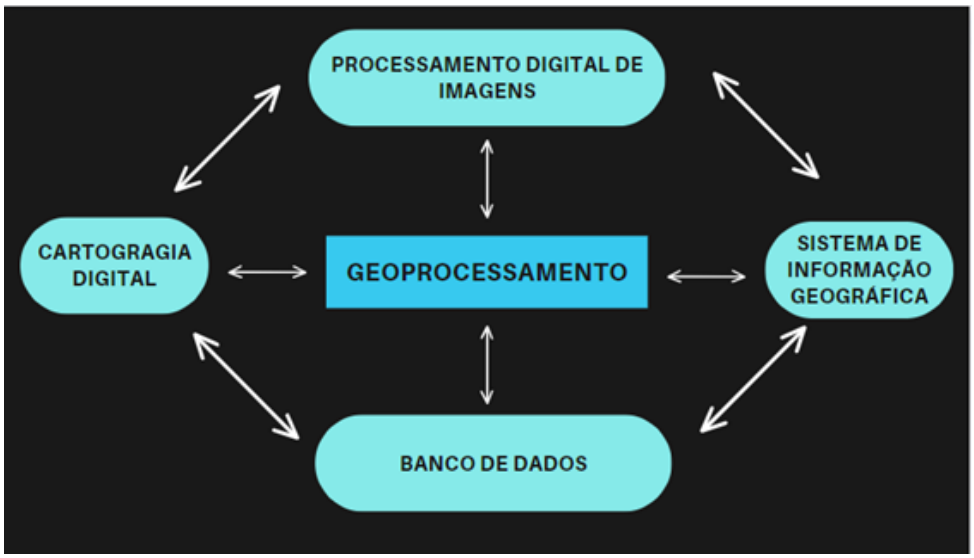


Figura 2.6: Principais atividades envolvidas em Geoprocessamento. Fonte: Rosa and Brito (2013).

Com o avanço tecnológico, foram criados diversos softwares para as mais diversas funções que podem ser utilizadas no geoprocessamento. Por isso, podemos confundir o termo SIG com o geoprocessamento. É necessário que se elucide as definições de ambos os termos, sendo o geoprocessamento o termo amplo do tema e assim, o mesmo representa qualquer tipo de processa-

mento de dados georreferenciados. Por sua vez, SIG processa dados geográficos e não gráficos (alfanuméricos) com ênfase em análise espaciais e modelagens de superfície (Burrough, 1998).

Como ensina Rosa and Brito (2013), quando olhamos as geotecnologias temos o envolvimento de pelo menos quatro categorias de técnicas relacionadas ao tratamento da informação espacial:

1. Técnicas para coleta de informação espacial (cartografia, sensoriamento remoto, GPS, topografia, levantamento de dados alfanuméricos);
2. Técnicas de armazenamento de informação espacial (bancos de dados - orientado a objetos, relacional, hierárquico, etc.);
3. Técnicas para tratamento e análise de informação espacial (modelagem de dados, geoestatística, aritmética lógica, funções topológicas, redes, etc.);
4. Técnicas para o uso integrado de informação espacial, como os sistemas GIS - *Geographic Information Systems*, LIS - *Land Information Systems*, AM/FM - *Automated Mapping/Facilities Management*.

Por fim, diante das informações apresentadas, atualmente, o geoprocessamento é amplamente utilizado em diversos setores, alguns deles são: preservação de florestas, agricultura, gestão de recursos hídricos, gestão de desastres, planejamento urbano e análise de dados ambientais. Além disso, o avanço das tecnologias de localização, como o GPS, (SIG) e sensoriamento remoto tem ampliado ainda mais as possibilidades de uso do geoprocessamento.

2.10 Sensoriamento Remoto

Para Reeves and ASP (1975), o Sensoriamento Remoto (SR) surgiu na década de 1960, verificando que sua origem está ligada às fotos aéreas, que vem do termo em inglês *"remote sensing"*. Esse termo foi utilizado para denominar a técnica de registros das fotos de superfícies da terra sem que existam contatos físicos com o objeto.

Assim, segundo Colwell and ASP (1983), "o sensoriamento remoto é a medição ou aquisição de informação de alguma propriedade de um objeto ou fenômeno, por um dispositivo de registro que não esteja em contato físico ou íntimo com o objeto ou fenômeno estudado".

Desse modo, avaliando os autores citados, podemos falar que o sensoriamento remoto é o processo de obter informações da sobre a terra a partir de sensores que não estão em contato direto. Esse procedimento pode ser feito por meio de satélites, aeronaves, RPA, que coletam os dados com diferentes tipos de sensores. Além disso, conforme instrui Florenzano (2007), o sensoriamento remoto é uma tecnologia que permite a obtenção de imagens e outros tipos de dados da superfície da Terra, através da captura e registro da energia refletida ou emitida pela

superfície. O termo "sensoriamento"se refere à obtenção de informações por meio de sensores instalados em plataformas terrestres, aéreas (balões e aeronaves) e orbitais (satélites artificiais). O termo "remoto"é usado porque a obtenção é realizada à distância, sem contato físico entre o sensor e os objetos na superfície da terra.

São partes do SR a fase de obtenção de dados, processamento, análise e interpretação dos dados obtidos (Jensen and Epiphanio, 2009). Para a obtenção dos dados de SR, podemos usar várias elevações de altitudes diversas como: altitude de campo, aerolevantamentos e/ou suborbital e altitudes orbitais. No processamento dos dados são usados os dados que foram adquiridos e são realizadas técnicas de processamento, por meio de *softwares*.

Desse modo, com os resultados dos processamentos e com as cartas geradas, são interpretados os dados com o intuito de avaliar a melhor alternativa para resolução do problema, seja ele problema de projeto, problema ambiental entre outros. Por fim, podemos dizer que existem quatro tipos de resolução que são obtidas por meio do levantamento, são elas: imagens espaciais, espectrais, radiométricas e temporais (Fitz, 2008).

Nesse projeto serão abordadas, principais resoluções das imagens espaciais, espectrais, raiométricas e temporais.

A resolução espacial refere-se a capacidade do sensor em dividir ou resolver os elementos na superfície terrestre, ela também pode ser entendida como o tamanho que é possível um sensor distinguir de um determinado objeto ou o tamanho do menor objeto que pode ser identificado na imagem. Um sensor que tenha uma resolução espacial de 20 cm. Pode por exemplo identificar apenas objetos com (400 cm²). Quanto melhor a resolução espacial maior o nível de detalhamento observado como é demonstrado pela Fig. 2.7.

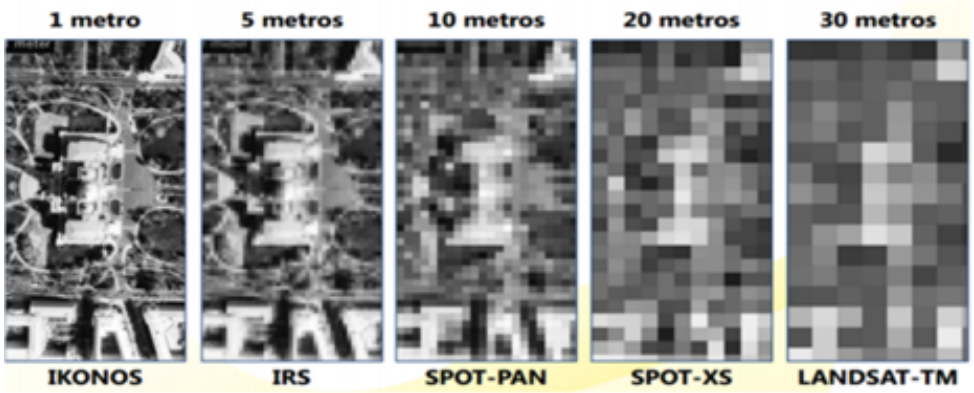


Figura 2.7: Diferentes resoluções Espaciais. Fonte: Martin (2018).

A resolução espectral diz respeito ao número de bandas que os sensores existentes nos satélites e/ou sensores conseguem discretizar. A resolução espectral pode ser definida como ensinou Silva Junior (2019): “o número ou tamanho de intervalos de comprimentos de onda eletromagnética específicos (também chamados de bandas ou canais) aos quais um determinado instrumento de sensoriamento remoto é sensível”. Dessa forma, existem três parâmetros que devem

ser levados em consideração: As posições das bandas estão situados no espectro eletromagnético, o número de bandas que o sensor é capaz de reconhecer e por fim, a largura das bandas em comprimento de onda como é apresentado na Fig. 2.8.

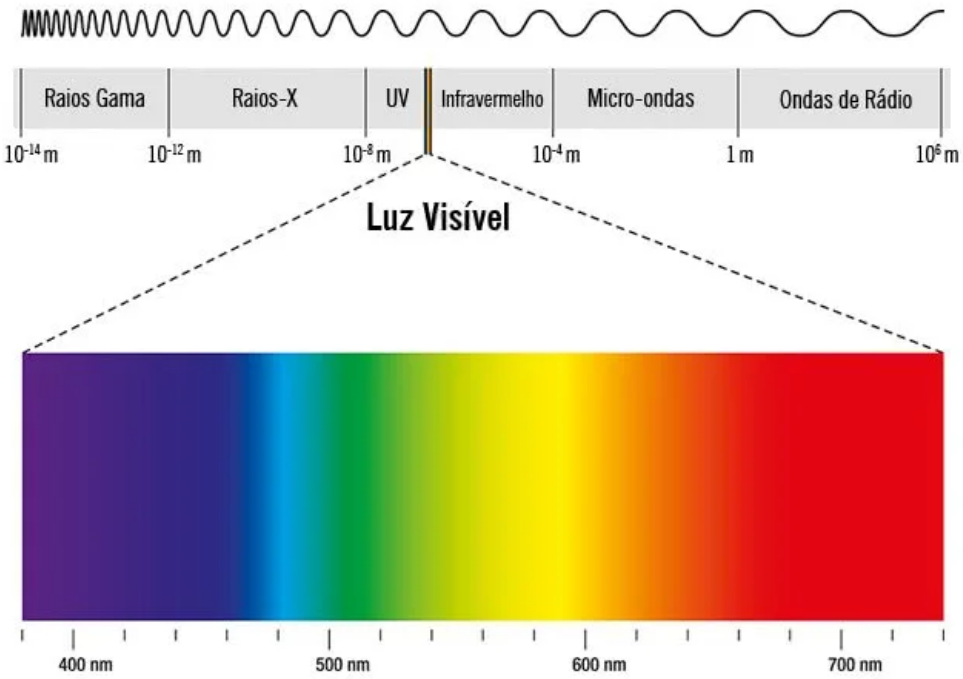


Figura 2.8: Espectrômetro e Faixa da luz visível. Fonte: Silva Junior (2019).

A resolução radiométrica refere-se ao número de radiação que o detector pode descriminar, ou seja, a aptidão que um sensor de distinguir diferentes quantidades de energia emitida ou refletida de um objeto. Assim, a radiância de cada pixel por uma codificação digital, essa codificação é dada por um valor numérico, que é expressa em bits, que é denominada como número digital (ND). O ND por sua vez, é o número de tons de cinza que cada pixel da imagem pode assumir. Por exemplo, 1 bits é igual 2^1, por sua vez 11 bits são $2^{11} = 2048$ que se refere a quantidade de níveis de cinza na imagem como mostra a Fig. 2.9.

A resolução temporal é a capacidade de um sistema de medição ou um sensor de adquirir dados da superfície terrestre em diferentes momentos ao longo do tempo. Essa resolução como é apresentada na Fig. 2.10 é expressa em dimensões temporais como segundos, minutos, horas, dias e anos. Assim, ela se faz importante para cumprir atividades como meteorologia, monitoramento ambiental, sistemas de navegação entre outras funções.

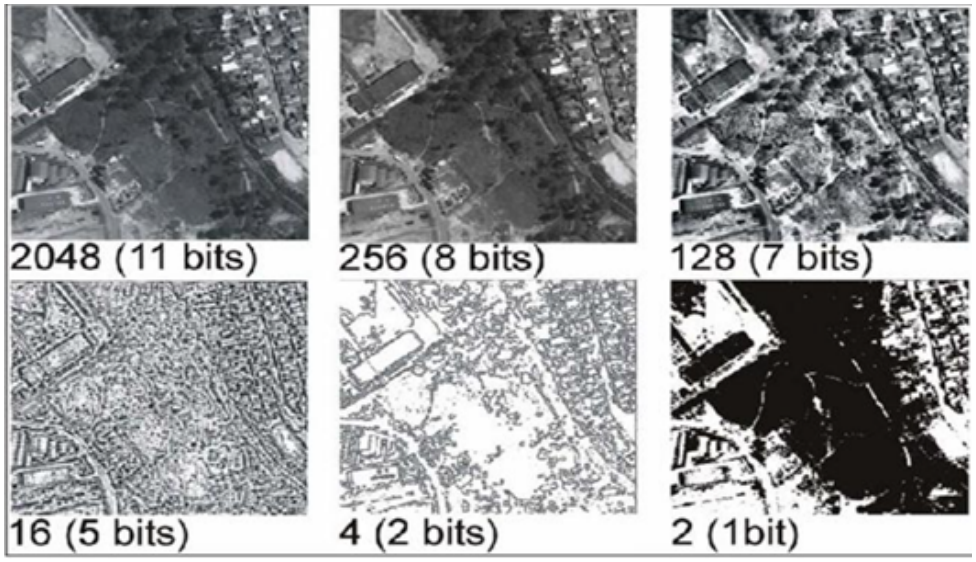


Figura 2.9: Representação das Diferentes quantidades de Bits. Fonte: Martin (2018).



Figura 2.10: Resolução Temporal (17 anos): (a) Noroeste 2005 e (b) 2022.

2.11 Sistema de Informações Geográficas (SIG)

Os Sistemas de informações geográficas (SIG) são ferramentas tecnológicas que permitem o armazenamento, coleta, análise e visualização de dados georreferenciados, ou seja, dados que possuem informações de localização geográfica. Os SIG são amplamente utilizados em áreas como geociências, planejamento urbano, transporte, agricultura, conservação ambiental entre diversos outros usos. Eles permitem a criação de mapas e realização de análises espaciais auxiliando tomadas de decisões e soluções de problemas relacionados à geografia.

Uma das definições principais do SIG é um sistema automatizado de coleta, armazenamento, manipulação e saída de dados geográficos (Burrough et al., 2015). Pedrosa and Câmara (2004), por sua vez, diz que o SIG é uma tecnologia estabelecida que se configura com objetivo de armazenar, recuperar, organizar e modificar dados de distribuição espacial de recursos naturais, dados geo-demográficos, redes de utilidade pública entre outras informações.

A partir destes conceitos apresentados pelos autores, é possível indicar as principais características dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) que consistem principalmente em:

- Inserir e integrar, numa única base de dados, informações espaciais provenientes de dados cartográficos, dados censitários e cadastro urbano e rural, imagens de satélite, redes e modelos numéricos de terreno;
- Oferecer mecanismos para combinar as várias informações, através dos algoritmos de manipulação e análise, bem como para consultar, recuperar, visualizar e plotar o conteúdo da base de dados georreferenciados (INPE, 2002).

O termo Sistemas de Informação Geográfica (SIG) é aplicado para sistemas que realizam o tratamento computacional de dados geográficos e recuperam informações não apenas com base em suas características alfanuméricas, mas também através de sua localização espacial. Oferecem ao pesquisador (geógrafo, urbanista, planejador, engenheiro) uma visão inédita de seu ambiente de trabalho, em que todas as informações disponíveis sobre um determinado assunto estão ao seu alcance, interrelacionadas com base no que lhes é fundamentalmente comum - a localização geográfica. Para que isso seja possível, a geometria e os atributos dos dados de um GIS devem estar georreferenciados, isto é, localizados na superfície terrestre e representados em uma projeção cartográfica (INPE, 2002).

Dessa forma, como instruído pelos autores, existem algumas definições para SIG, no presente trabalho será utilizada a definição de Ali (2020), que nos apresenta que o SIG é um sistema de software de computador, hardware, dados e pessoas que permite inserir, manipular e apresentar dados e informações que está ligado a um local na terra. Este sistema tem 5 principais componentes: Hardware, Software, Dados, Pessoas e Métodos como é apresentado na Fig. 2.11.



Figura 2.11: Estrutura do Sistema de Informações Geográficas. Modificado de: Rosa and Brito (2013).

Na Fig. 2.11, mostram-se os componentes do SIG. Desse modo, tem-se que o Hardware é o computador no qual o SIG é operado, existem diversos tipos de hardware, desde servidores complexos, até notebook. Utilizando os computadores e por meio de Software que são programas que foram criados com o intuito de facilitar a visualização, manipulação e armazenamento das informações geográficas. Existem em uso diversos Software em uso como, Global mapper, AutoCAD Map, ArcGIS, DJI Terra, entre outros.

Os Software apresentados buscam tratar os Dados, que possivelmente é o componente mais importante e mais caro do SIG. Todos os dados são espaciais ou de atributos que nos informa onde ocorre algo ou o que ocorreu. Assim, os dados geográficos são basicamente divididos em dois grupos: os vetores e os raster. Os dados vetoriais são objetos representados por linhas, polígonos ou pontos. Os dados de raster são uma grade contínua de células em duas ou o equivalente a células cúbicas em três dimensões. Assim, as imagens de raster contínuas geralmente descrevem fenômenos contínuos no espaço, como o modelo digital de elevação, onde cada pixel representa uma elevação diferente.

Apresentando as ferramentas tecnológicas, o SIG não tem o devido valor caso não existam pessoas para gerenciar as informações adquiridas. O SIG é utilizado por especialistas que buscam desenvolver planos para aplicá-los em problemas reais. Por fim, um Sistema de Informações que é bem sucedido opera de acordo com um plano de regras. Assim, os procedimentos são modelos e práticas exclusivas de cada organização.

2.12 Softwares Utilizados no Processamento de Imagens

Os softwares de processamento de imagens, como o ArcGIS, DJI Terra, Agisoft e Global Mapper, são extremamente importantes para a análise geográfica, planejamento territorial, monitoramento ambiental e outros setores. Eles permitem o tratamento de dados geográficos em alta resolução, como imagens de satélite, fotos aéreas e levantamentos topográficos, e transformam esses dados em informações precisas e valiosas. Por isso, é importante que se apresente um pouco de cada software e sua função. Desse modo será listado abaixo os softwares que serão utilizados no processamento das imagens adquiridas por aerolevantamento.

2.12.1 ArcGIS Pro

O ArcGIS Pro é um software avançado de SIG desenvolvido pela Esri. Ele permite a criação, edição, análise e compartilhamento de mapas e dados geográficos. Possui ferramentas poderosas para análise espacial, modelagem, visualização e gerenciamento de dados. É utilizado principalmente por profissionais de SIG, engenheiros, cientistas e planejadores.

2.12.2 AutoCAD

O AutoCAD é um software de desenho assistido por computador (CAD) desenvolvido pela Autodesk. Ele é amplamente utilizado por engenheiros, arquitetos, designers, profissionais de construção e outros profissionais para criar desenhos técnicos e projetos precisos. Ele oferece uma variedade de ferramentas para desenho 2D e 3D, modelagem, visualização e edição de projetos. Ele também tem recursos de colaboração e gerenciamento de projetos, incluindo suporte para trabalhar com arquivos DWG e outros formatos de arquivo comuns. Além disso, AutoCAD é compatível com outros softwares da Autodesk, como o Revit e o 3ds Max, permitindo trabalhar em projetos de forma integrada.

2.12.3 DJI Terra

O software DJI Terra é utilizado para o gerenciamento de dados de drone Dji. Ele permite a planificação, execução e análise de missões de mapeamento aéreo com drones DJI. Além disso, ele fornece ferramentas para criar e editar missões, processar e analisar dados de imagens, criar mapas e modelos 3D e compartilhar resultados.

2.12.4 Global Mapper

O Global Mapper é um software de SIG que tem seu código aberto e permite visualizar, editar, converter e analisar dados geográficos. Suporta uma ampla variedade de formatos de

arquivo, incluindo lidar, vetorial e raster. Além de que, ele possui uma variedade de ferramentas de análise espacial, visualização e modelagem.

2.12.5 Agisoft Metashape

Agisoft Metashape é um programa de processamento de imagens para a criação de modelos 2D, 3D e mapas. Ele é especialmente útil para aplicação de fotogrametria e modelagem de drones e câmeras. Ele fornece ferramentas para alinhar, otimizar e processar imagens, além do mais, cria modelos 3D, gera mapas ortomosaicos e modelos de elevação de terreno.

2.12.6 Riscan Pro

O software Riscan Pro é utilizado para o processamento de dados de radar de penetração no solo. Ele permite a aquisição, processamento e interpretação de dados de radar, permitindo a identificação de objetos subterrâneos e avaliação de estruturas (Silva et al., 2019).

3. Materiais e Métodos

A seção de materiais e métodos deste estudo visou detalhar os recursos utilizados e a abordagem adotada para alcançar os resultados esperados no projeto de conclusão de curso. O trabalho foi estruturado em duas partes principais: uma de caráter quantitativo e outra de caráter qualitativo.

A parte quantitativa consistiu na coleta de informações de fontes primárias, realizada por meio de levantamentos aéreos com aeronaves pilotadas remotamente. Conforme ilustrado na Fig. 3.1, o levantamento foi executado em duas etapas. A primeira etapa envolveu o planejamento e execução do plano de voo, que consiste na coleta de dados em campo. A segunda etapa correspondeu ao processamento desses dados para a produção de produtos cartográficos.

Nas Fig. 3.1 e 3.2 mostra-se que a primeira etapa foi subdividida em três fases, cada uma indicada por uma cor diferente. A fase azul diz respeito à organização pré-voo, que pode envolver uma ou mais visitas de reconhecimento ao local. A fase amarela englobou todas as atividades realizadas no dia do levantamento, incluindo a verificação dos materiais e instrumentos necessários, a conferência dos planos de voo, a inspeção da área de voo, a calibração do equipamento e, finalmente, a execução do voo. Por fim, a fase verde se refere ao processamento dos dados coletados e sua preparação para a obtenção de resultados satisfatórios do levantamento. Assim, concluiu-se a parte quantitativa do estudo.

A vertente qualitativa, por outro lado, envolveu a coleta de dados secundários por meio de estudos e pesquisas na área, a fim de fortalecer a fundamentação do trabalho. Finalmente, foi realizado um levantamento topográfico com o objetivo de produzir uma ortofoto, um Modelo Digital de Terreno (MDT), um Modelo Digital de Superfície (MDS) e curvas de nível. Além disso, este levantamento forneceu dados mais precisos sobre a declividade, a ocupação do solo, as altitudes e outras características do terreno para o modelo de drenagem do solo que está sendo desenvolvido pelo grupo de pesquisa Geofluxo, no projeto de pesquisa GeoPARLARe.

Para o aerolevantamento serão utilizados os materiais para a produção dos pontos de controle, verificação das coordenadas e verificação da altitude do levantamento. Esse objetos são apresentado na Tab. 3.2, além disso podemos identificar os objetos na Fig. 3.4.

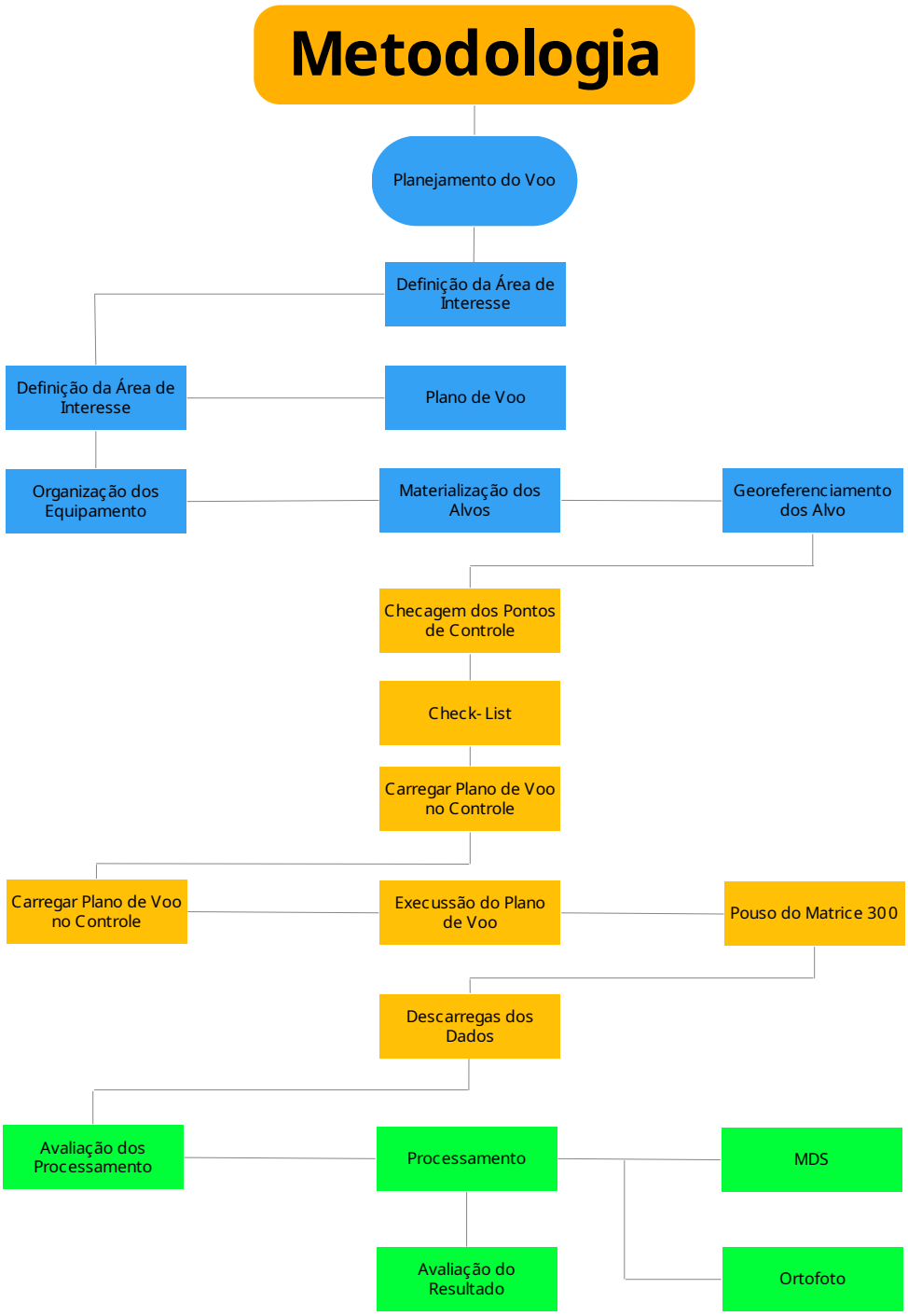


Figura 3.1: Metodologia do Plano de Voo e Processamento dos dados.

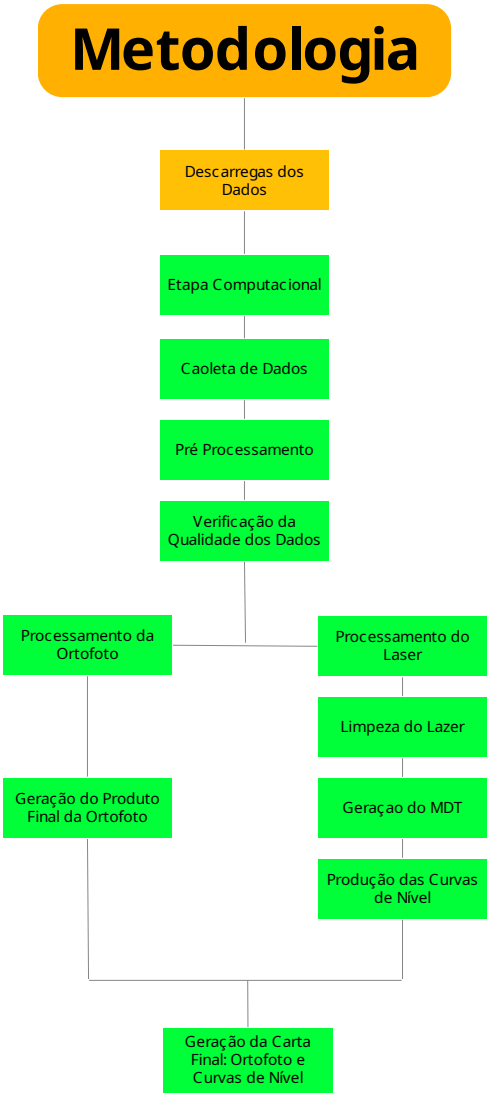


Figura 3.2: Metodologia das etapas computacionais.

3.1 Materiais

A execução de um aerolevantamento para a obtenção de ortofoto e laser foi o método empregado para coletar dados topográficos e geoespaciais da Bacia do Córrego Capetiga. Este método pode ser segmentado em três etapas essenciais: planejamento do voo, coleta de dados e processamento.

A etapa inicial, crucial para um levantamento eficaz, foi o planejamento e a seleção do local para o levantamento. Desta forma, o êxito de um levantamento está diretamente conectado à primeira fase, que inclui o planejamento e a delimitação da área de interesse. Depois de escolher a área, é imprescindível planejar o voo para assegurar a qualidade do levantamento. Em determinados casos, uma visita preliminar pode ser necessária para evitar potenciais obstáculos na execução do levantamento.

A segunda fase, a coleta de dados, consistiu na aquisição das informações. Para isso, utilizou-se um conjunto de sensores a bordo de uma aeronave, como um LiDAR para o levantamento a laser e uma câmera para a produção de ortofotos. Durante o voo, os sensores foram ativados e registraram dados que foram georreferenciados em tempo real.

A terceira e última fase, o processamento, envolveu a transformação dos dados coletados em informações relevantes. O LiDAR criou um modelo digital de elevação (MDE) representando a superfície terrestre, enquanto as imagens capturadas pela câmera foram corrigidas geometricamente para produzir ortofotos.

Uma vez definidos os passos para o levantamento, foram necessários certos materiais físicos, computacionais e digitais para garantir a realização do levantamento e alcançar o resultado esperado. Portanto, os materiais usados para o aerolevantamento estão listados nas Tab. 3.1 e 3.2. Na Tab. 3.1, especificam-se os materiais usados para a criação dos pontos de controle, com alguns exemplos desses equipamentos apresentados na Fig. 3.3.

Tabela 3.1: Ferramentas utilizadas para a produção dos pontos de controle.

Material	Quantidade
(1) Suporte 2 pés	2
(2) Suporte 3 pés	3
(3) Cal	1
(4) Marreta	1
(5) Piquetes	6
(6) Estaca testemunha	4

Da mesma forma, foram utilizados certos equipamentos para a execução do voo de drone. Na Tab. 3.2, listam-se esses equipamentos, e na Fig. 3.4 é possível identificar visualmente os objetos correspondentes.



Figura 3.3: Ferramentas utilizadas para a produção dos pontos de controle.

Tabela 3.2: Equipamentos eletrônicos utilizados no aerolevantamento.

Material	Quantidade
(1) Drone DJI Matrice 300	1
(2) Zen Muse L1 DJI	1
(3) Estação de Baterias	1
(4) Baterias Inteligente Dji TB60	12
(5) GPS RTK i50 CHCNAV	1
(6) Receptores de RTK DJI	1
(7) Controle DJI	1

Também foram necessários alguns computadores para processar esses dados. O hardware empregado incluiu um computador de mesa (RT09) com as seguintes especificações: CPU AMD Ryzen 9 5950X 16-Core Processador 3,40 GHz, 64 GB DDR4 de memória RAM, placa mãe ASUS PRIME x570-PRO, placa gráfica Nvidia Geforce RTX 3080ti e SSD ADATA SE760 SCSI Disk Device 1TB, rodando o sistema operacional Windows 10 Pro. Adicionalmente, foi usado um notebook Lenovo Ideapad 310-15ISK-80UH0004BR, de cor prata, com processador Intel Core i7 de 6ª geração, placa de vídeo GeForce GTX 920 2 GB, 8 GB de memória RAM, HD de 1 TB, tela de 15.6 polegadas e sistema operacional Windows 10.



Figura 3.4: Equipamentos eletrônicos utilizados no aerolevantamento.

3.2 Métodos

O embasamento teórico do trabalho foi fundamentado em artigos científicos, trabalhos de conclusão de curso, resenhas e outras publicações acadêmicas. Após essa pesquisa, foi elaborado o plano dos voos, que corresponde à fase experimental do trabalho e fornece os dados de entrada, conforme mostrado na Fig. 3.1.

Nesse contexto, de acordo com Prodanov and De Freitas (2013), o trabalho se classifica como um estudo de caso, que envolve uma análise cuidadosa e detalhada de um determinado tópico, com a coleta e análise de informações pertinentes ao objeto de estudo. Após a conclusão do levantamento, foi iniciada a fase computacional do trabalho, que visou ao processamento dos dados e à geração dos produtos, como demonstrado na Fig. 3.2.

3.2.1 Escolha da Área do Levantamento

O estudo focou no levantamento topográfico da Bacia do Córrego Capetinga, situada no Distrito Federal, especificamente na SMPW Quadra 17, Conjunto 1, Núcleo Rural Vargem Bonita s/n - Núcleo Bandeirante, Brasília - DF, 71750-000. Localizada na Quadra 17 do Parque Way, ao lado de Vargem Bonita, essa área pertence à Universidade de Brasília (UnB) e é conhecida como FAL/UnB (Fazenda Água Limpa), como pode ser verificado na Tab. 3.3.

A FAL/UnB, onde são conduzidos diversos estudos acadêmicos e aulas práticas e teóricas de agronomia, veterinária e biologia, possui uma extensão de 2100 hectares (21 km²). A região

Tabela 3.3: Localização FAL/UnB em Coordenadas Geográficas e em SIRGAS 2000 UTM 23S

Localização	Latitude	Longitude	Este	Norte
FAL/UNB (Zona 23S)	47°56'25.53"	15°56'25.55"	185188.00	8235434.00

é uma Área de Relevante Interesse Ecológico (ARIE), criada pelo Decreto Federal n° 91303 (Brasil, 1985). Na Fig. 3.5, ilustra-se a localização da FAL/UnB, bem como a área da bacia na figura descrita como: área piloto, local do aerolevantamento da bacia e onde nosso grupo de estudos, o GeoPARLARe, conduz estudos sobre recarga de aquífero.

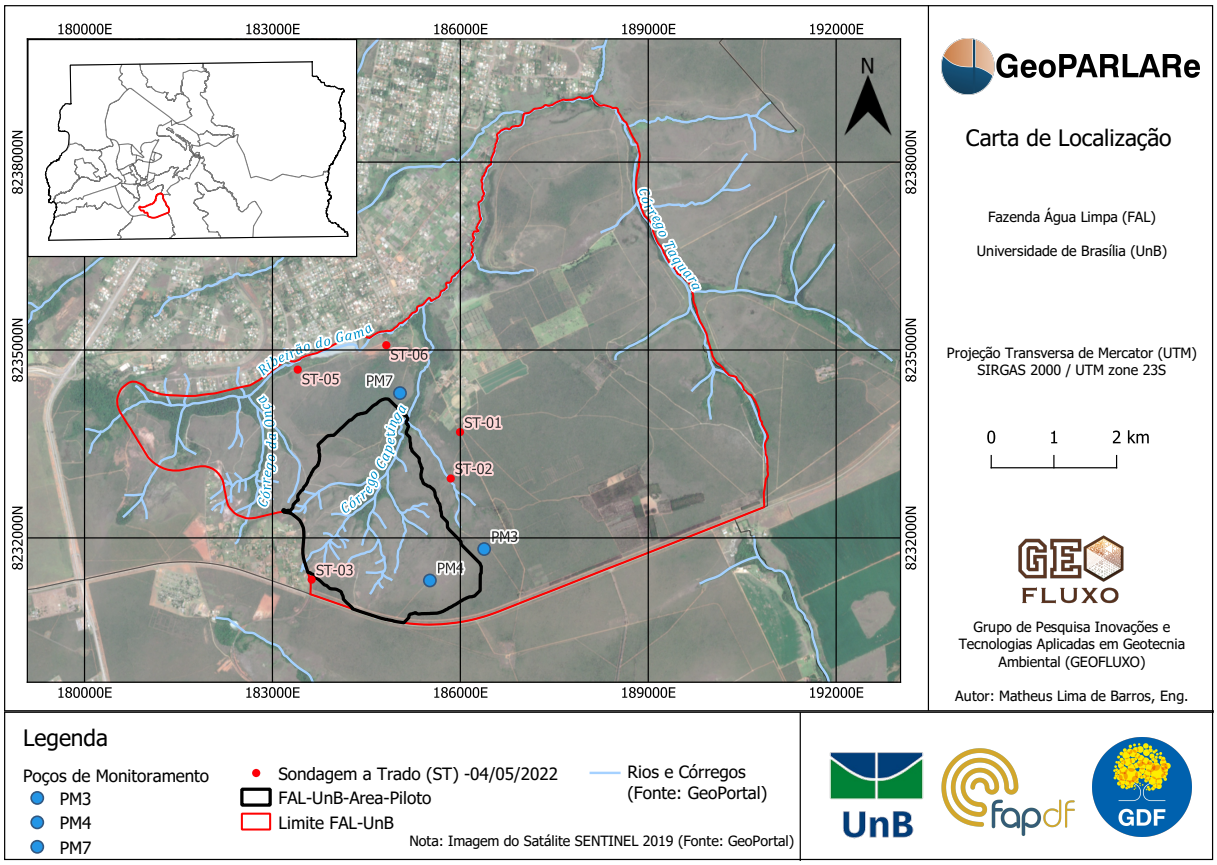


Figura 3.5: Mapa de Localização FAL-UnB. Fonte: GeoPARLARe (2020).

A Bacia do Córrego Capetinga cobre uma área total de 963,4 hectares e tem uma altitude que varia entre 1.057 e 1.200 m acima do nível do mar. Os corpos hídricos superficiais do local estendem-se por cerca de 2.810 m e a declividade média da região é de 1,8% (Silva & Oliveira, 1999).

Com base nessas informações, foi elaborado um plano de voo detalhado para a área. Foi elaborado também um cronograma de visita para reconhecimento da área de voo e identificação de possíveis obstáculos que pudessem impedir a execução do trabalho. Assim, em 11/01/2023,

foi realizado a primeira visita técnica, definindo a base principal e o local para a maioria dos voos (Fig. 3.6).



Figura 3.6: Ponto de Decolagem do Aerolevantamento.

Após estabelecer o local de voo, retornou-se ao escritório para ajustar os detalhes da área de voo e organizar os materiais necessários para o levantamento. Foi verificado com cuidado as coordenadas e limites da área de voo para garantir que estejam corretos.

Adicionalmente, foram preparados todos os equipamentos e ferramentas essenciais para o levantamento. Isso envolve verificar e calibrar instrumentos de medição, como câmeras, sensores a laser e GPS, assegurando que estão em perfeito estado de funcionamento. Também garantiu-se ter todos os materiais necessários para coleta e armazenamento de dados durante o voo, como baterias extras, cartões de memória adicionais, e equipamento para controle e monitoramento em tempo real.

Deste modo, realizou-se uma revisão minuciosa de todos os detalhes para garantir que tudo estivesse pronto e bem organizado para executar o levantamento aéreo de acordo com o plano de voo estabelecido. Na Fig. 3.7, mostram-se as áreas determinadas para serem sobrevoadas com laser e com ortofoto, sendo a área de voo da ortofoto delimitada pelo limite amarelo e a área de voo do laser marcada pelo limite verde.

3.2.2 Elaboração do Plano de Voo (Ortofoto)

No dia 11 de janeiro de 2023, foi feito um prévio reconhecimento da área onde o voo seria realizado. O objetivo era identificar possíveis obstáculos ou riscos para o drone, como árvores,

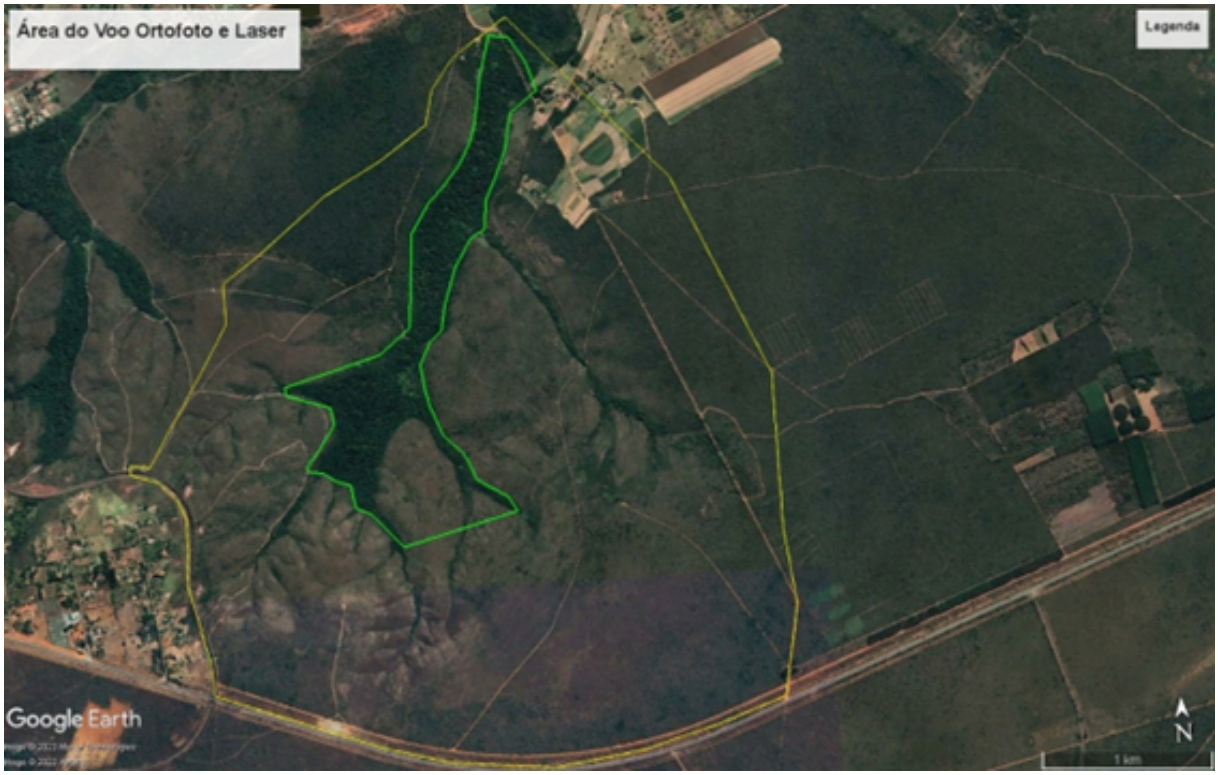


Figura 3.7: Área do Levantamento da Ortofoto e do Laser.

torres de transmissão e linhas de energia. Este passo foi crucial para assegurar a segurança do equipamento durante a coleta de dados e permitiu que a equipe traçasse a rota mais segura para a missão. A visita também ajudou a determinar o local de lançamento do drone e a elaborar planos de emergência e contingência.

Com as informações obtidas durante a visita, um plano de voo para a ortofoto foi elaborado. Isso permitiu planejar a missão de coleta de dados com precisão, minimizando riscos e maximizando os resultados. Com a ajuda do software Google Earth, criou-se um mapa da área de voo para a ortofoto (Fig. 3.8). Esta área marcou os limites para o levantamento da Bacia do Córrego Capetinga.

O mapa criado no Google Earth foi importado para o software DJIFly, onde foram planejadas as rotas de voo para a ortofoto, como mostrado na Fig. 3.9.

Na Figura 3-10, indica-se que para o voo ser realizado, seria necessário um tempo estimado de 2 horas e 38 minutos, o que equivale a aproximadamente 8 baterias de voo. Além disso, foram previstas um total de 2289 fotos.

Para garantir a melhor qualidade da ortofoto, estabeleceram-se critérios no software DJIFly. Determinou-se uma sobreposição de 70% lateral e 80% frontal entre as imagens, como visto na Figura 3.10.

Depois de definir as sobreposições, a velocidade de voo foi fixada em 12 m/s (Fig. 3.11). A velocidade é um fator que precisa ser cuidadosamente ajustado para garantir uma adequada



Figura 3.8: Área de voo da ortofoto da Bacia do Córrego Capetinga.

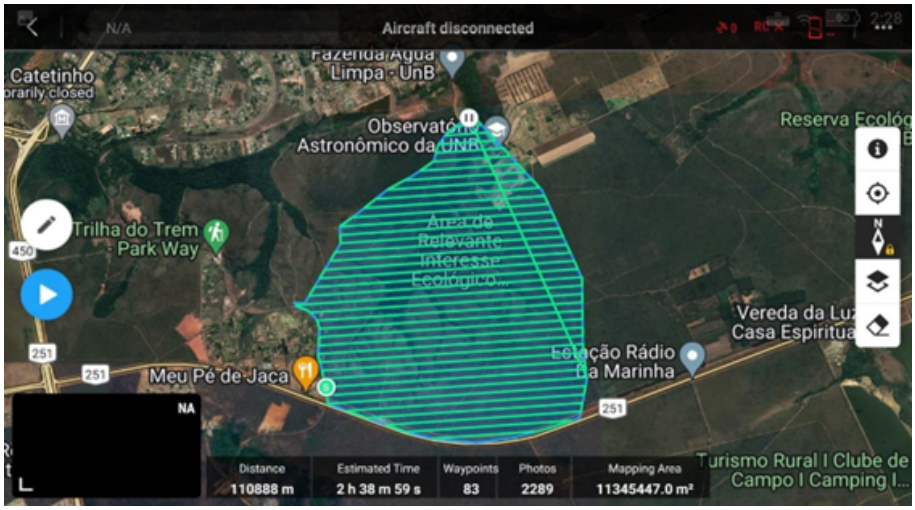


Figura 3.9: Linhas de voo e área do mapeamento da Ortofoto.

qualidade na obtenção da ortofoto, pois ela influencia a resolução espacial, a precisão geométrica, entre outros fatores, como a adaptação às condições climáticas. Além disso, a velocidade de retorno do drone ao ponto de partida foi definida como 15m/s.

Depois de definir todos os parâmetros, a altura de voo foi fixada em 250 metros, resultando

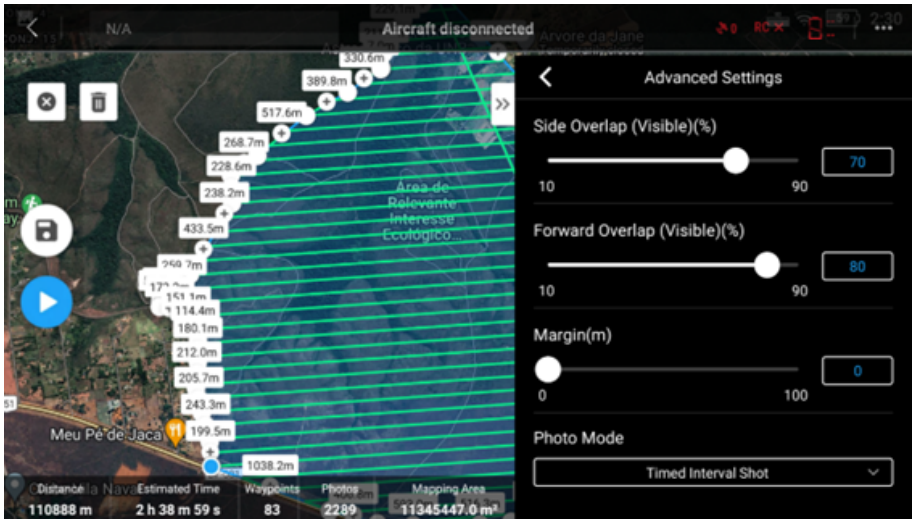


Figura 3.10: Informações da sobreposição das imagens da Ortofoto.

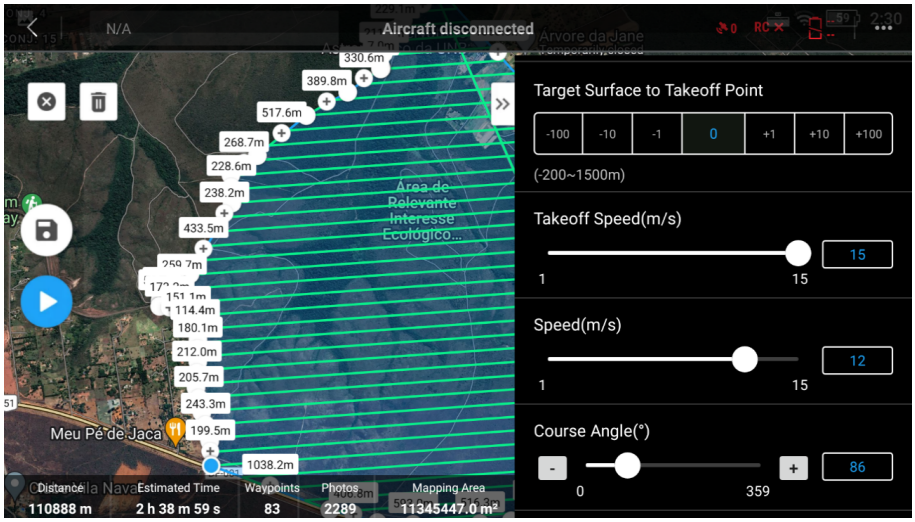


Figura 3.11: Velocidade do drone na aquisição das fotos.

em uma resolução máxima da ortofoto de 6,82 cm/pixel. Isso garante a máxima resolução para a ortofoto, como mostrado na Fig. 3.12.

3.2.3 Elaboração do Plano de Voo (Laser)

Para obter um Modelo Digital de Terreno mais detalhado na área principal da Bacia do Córrego Capetinga, os dados foram coletados com o laser L1. A área de interesse para o voo com laser foi definida usando o software Google Earth, como mostrado na Fig. 3.13.

Depois de determinar a área, o arquivo .kml com a delimitação do voo do laser foi importado para o software DJIFly para planejamento e ajustes do voo. Uma altura de voo de 100 metros foi estabelecida, seguindo o critério de seguir o relevo para evitar perda de informação. A velocidade de voo foi fixada em 5 m/s para a coleta de dados a laser, para garantir uma melhor

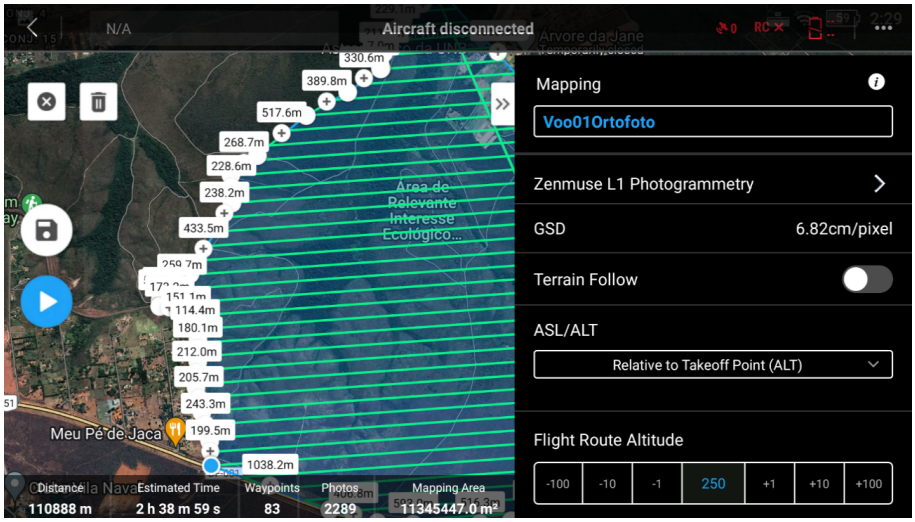


Figura 3.12: GSD de aproximadamente 7cm.



Figura 3.13: Área do Voo Laser.

qualidade. Uma velocidade de retorno de 15 m/s para o drone também foi estabelecida, como mostrado na Fig. 3.14.

O software DJIFly foi usado para calcular os critérios de voo. O resultado foi uma área total de 1,4274 km², com um tempo de voo estimado de 2 horas e 25 minutos. Com base nesses dados, foi possível estimar que cerca de 8 baterias seriam necessárias para o levantamento. A máxima resolução alcançada foi de 2,73 cm/pixel, garantindo um Modelo Digital de Terreno de

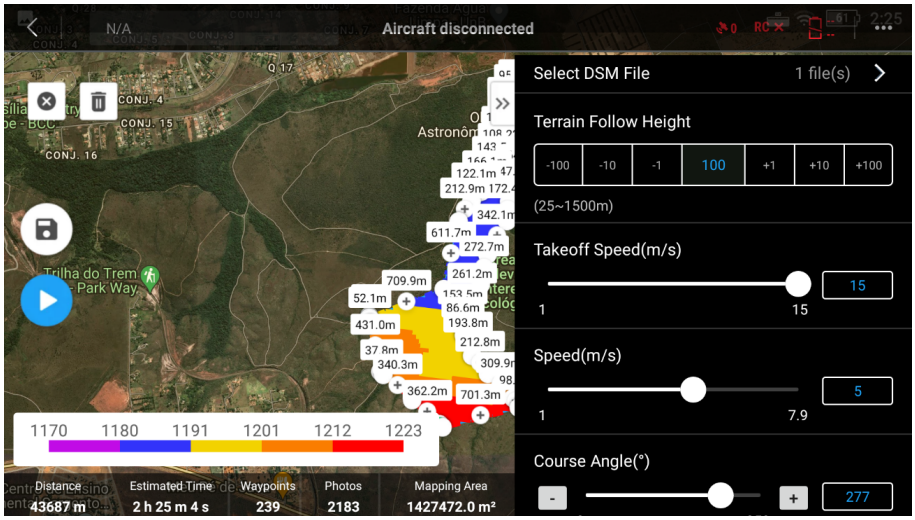


Figura 3.14: Altura e Velocidade do Voo Laser L1.

alta qualidade, como mostrado na Fig. 3.15.

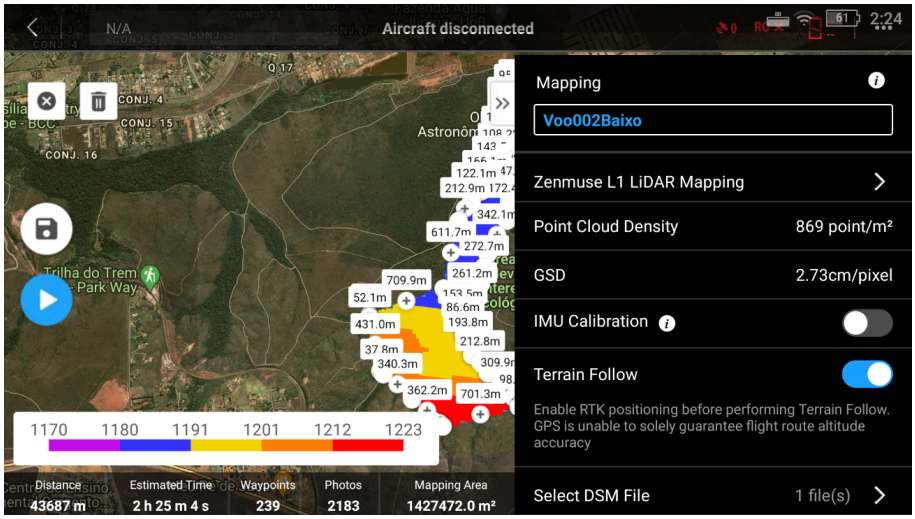


Figura 3.15: GDS e Densidade de ponto por m².

A área coberta pelo laser foi aproximadamente de 1,42 km². A densidade de pontos foi de 869 pontos por metro quadrado, resultando em um total de 2183 fotos capturadas.

3.2.4 Organização dos Equipamentos

Após a elaboração dos planos de voo da ortofoto e do laser, foram identificados os instrumentos necessários para o trabalho. Os equipamentos, mostrados na Fig. 3.16, foram organizados e preparados no dia 11/01/2023, para o levantamento no dia seguinte.

Para garantir a eficiência do trabalho, foi feita uma lista de verificação para confirmar que todos os equipamentos necessários estavam prontos para o levantamento. Além disso, os equi-

pamentos, incluindo o coletor, GPS, RTK, drones e tripés foram meticulosamente organizados, e as baterias foram pré-carregadas.

A organização e preparação dos equipamentos são cruciais para o sucesso do levantamento aéreo. Isso garante que todos os instrumentos necessários estejam disponíveis durante a coleta de dados, reduz erros e falhas no processo e garante a qualidade dos dados coletados.

Dessa forma, com todos os materiais separados, foi possível realizar o aerolevantamento da região da Bacia do Córrego Capetinga ao longo do dia 12/01/2023 sem que houvessem maiores imprevistos.

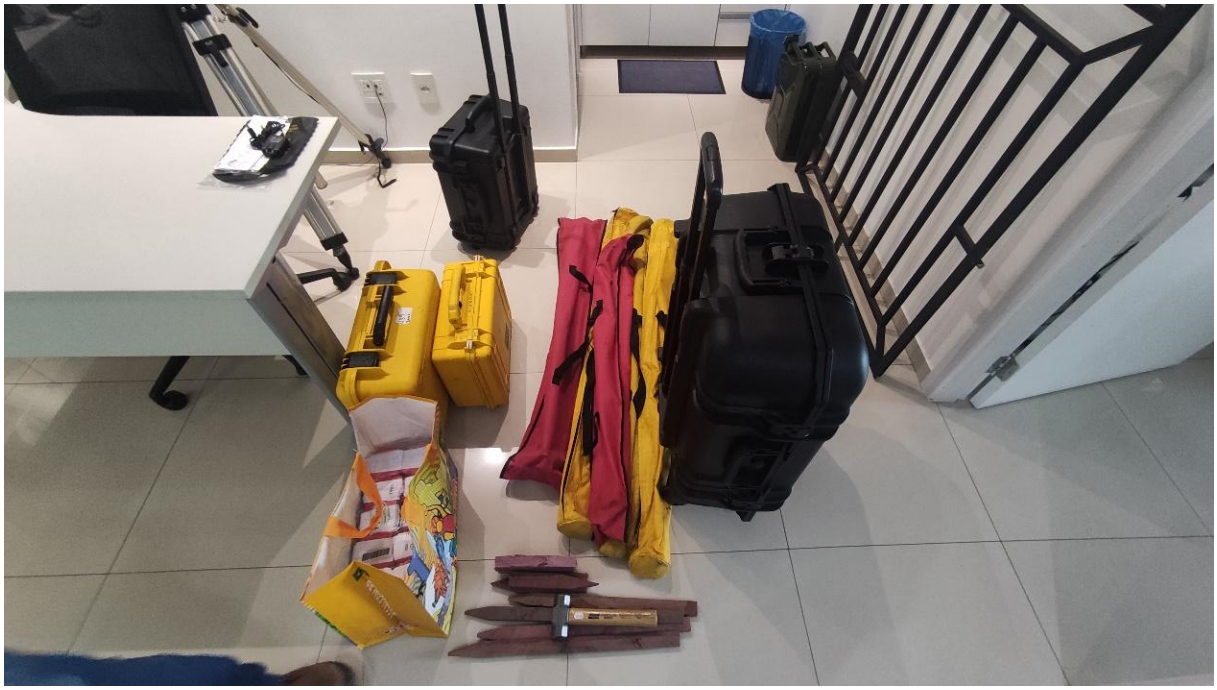


Figura 3.16: Equipamentos para o Aerolevantamento.

3.2.5 Produção dos Alvos

Após todo o preparativo de reconhecimento do local e a organização dos equipamentos, tanto físicos quanto digitais, a equipe, composta por Erick Valadares, Lucas Dias, Roberto e Matheus Lima, partiu da Ruraltech em Brasília (SMAS Trecho 3, Conjunto 3, bloco A salas 301 a 308 71215-300 Brasília, DF) às 07:30 do dia 12 de janeiro de 2023. O destino foi a Fazenda Água Limpa da Universidade de Brasília, localizada no Park Way - Núcleo Bandeirante, Brasília - DF, 71750-000, para realizar o levantamento (conforme Fig. 3.17).

Chegando ao local, a equipe começou os procedimentos para o levantamento da base geográfica. Este processo inclui a instalação da base de rastreamento GPS (Fig. 3.18), que é um processo de aproximadamente 2 horas, como sugerido pelo IBGE e indicado na Tabela 1. Importante frisar que não apenas uma, mas duas bases fixas foram coletadas. Estas servem como



Figura 3.17: Equipe do Levantamento Matheus, Lucas e Erick.

um meio de verificação para a base levantada, e o processamento do IBGE PPP é utilizado para estabelecer a conexão das bases rastreadas.



Figura 3.18: Base GNSS.

Com a base instalada, o próximo passo foi a definição dos pontos de controle para garantir que a ortofoto atenda aos parâmetros de precisão estabelecidos. Os pontos de controle (Fig.

3.19) são cruciais para o georreferenciamento da ortofoto, associando coordenadas espaciais (como latitude e longitude) às posições dos pixels na imagem. Estes pontos são comumente estabelecidos em interseções de ruas ou locais de destaque, e suas coordenadas são medidas com precisão usando um GPS.



Figura 3.19: Ponto de Controle.

Esses pontos são ainda utilizados para calcular a transformação necessária para corrigir a perspectiva da imagem, alinhando as linhas verticais com as verdadeiras coordenadas geográficas. Por isso, 10 pontos de controle foram coletados na região do levantamento utilizando GPS. Estes pontos foram distribuídos de modo a cobrir toda a área da ortofoto, como pode ser visto na Fig. 3.20.

Finalmente, na manhã do dia 12/01/2023, todos os pontos de controle planejados no dia anterior foram coletados, conforme mostrado nas Fig. 3.21, 3.22 e 3.23. Como o dia estava ensolarado, foi possível a coleta de todos os pontos sem maiores contratempos. Importa salientar que é crucial manter o ponto sempre bem nivelado. Para assegurar isso, utilizou-se um nível para verificar a correta instalação do bastão.

3.2.6 Rastreio dos pontos de Apoio com GNSS RTK

Utilizar o GNSS e o RTK para rastrear pontos de controle é uma maneira precisa de definir as coordenadas geográficas desses pontos (Fig. 3.24) em uma ortofoto. Este processo requer um receptor GNSS, que pode ser uma estação base ou um receptor móvel, para coletar dados de

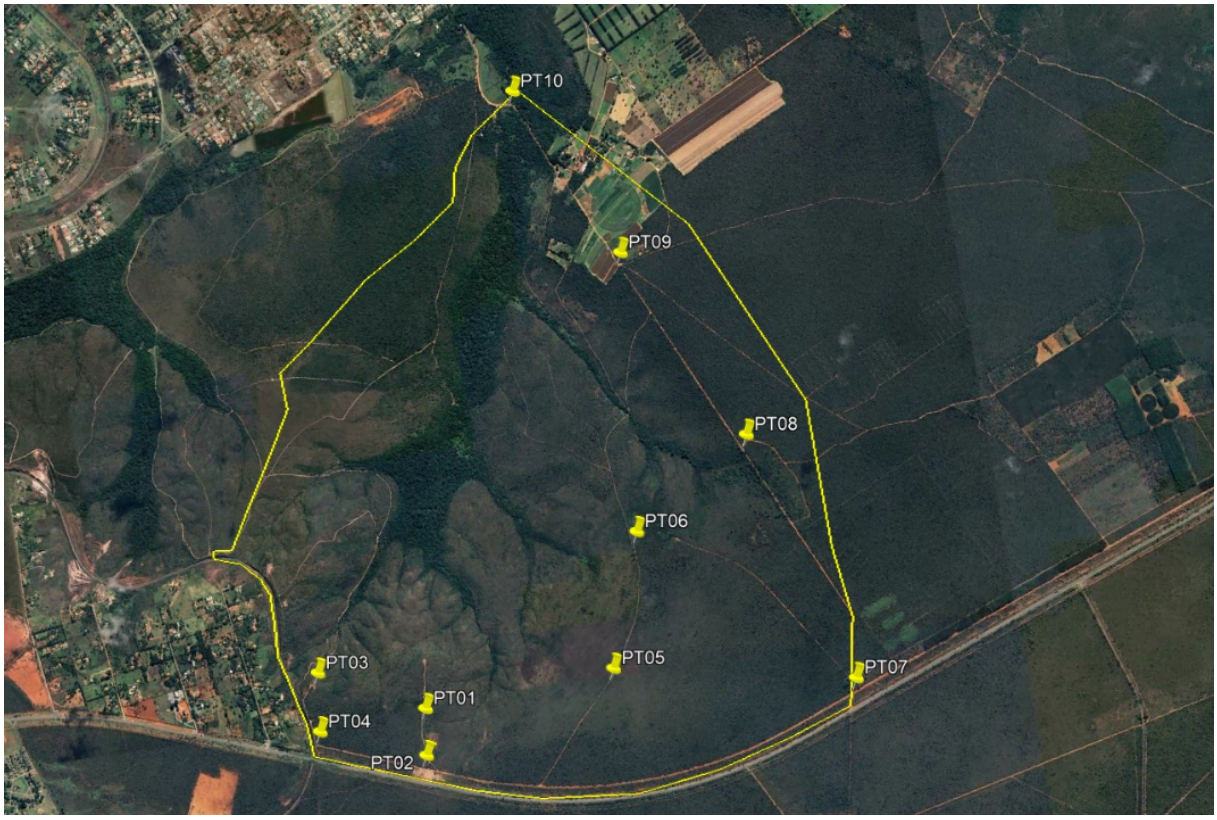


Figura 3.20: Pontos de Controle distribuídos na Ortofoto.



Figura 3.21: Pontos de Controle 1 e 2.

posição de satélites. O rastreamento RTK é uma etapa adicional que possibilita uma precisão na ordem dos centímetros, aumentando a precisão da ortofoto.

Esse processo começou com a marcação de pontos de controle em locais conhecidos. Depois, um receptor GNSS recebeu e coletou dados de posição dos satélites, que incluem informações como posição, velocidade e precisão de medidas. Utilizando o RTK, precisou-se de uma estação base que coleta dados de posição dos satélites e de um receptor móvel levado ao local do ponto de controle. Ambos calcularam as diferenças entre as posições medidas e transmitiram as informações de correção para o receptor móvel. Isso permitiu uma precisão de alguns centímetros, comparada à precisão de alguns metros utilizando apenas o GNSS.



Figura 3.22: Pontos de Controle 3 a 6.



Figura 3.23: Pontos de Controle 7 a 10.

No caso do aerolevantamento da Bacia do Córrego Capetinga, duas bases foram coletadas. A correção dessas bases envolveu sua conversão para o formato RINEX, usando o componente "Convert to RINEX"do software TBC. Essa conversão é necessária para que as bases possam ser usadas no serviço online gratuito de pós-processamento de dados GNSS do IBGE, o IBGE-PPP

(Posicionamento por Ponto Preciso). O IBGE-PPP usa o programa CSRS-PPP (GPS Precise Point Positioning), desenvolvido pela Divisão de Levantamento Geodésico do Ministério de Recursos Naturais do Canadá (NRCan) (IBGE, 2018).

Por último, uma vez que as coordenadas dos pontos de controle são conhecidas, elas foram usadas para georreferenciar a ortofoto. Este procedimento envolveu a transformação de coordenadas planas para coordenadas geográficas e a correção da perspectiva da imagem.



Figura 3.24: Ponto de Controle em local conhecido.

3.2.7 Realização do Voo

Para garantir o êxito do levantamento, foi necessário atender a várias condições antes da execução do voo. Primeiramente, cumpriram-se condições regulatórias e técnicas. Em seguida, o RPA precisou da aprovação regulatória do órgão nacional de aviação, a ANAC. Além disso, o RPA passou por inspeções e testes para confirmar sua segurança e aptidão para voo. Também era crucial possuir um plano de voo seguro e verificar a existência de obstáculos antes do voo. O piloto remoto do RPA deveria ter uma licença de voo adequada e habilidade para controlar o veículo de forma segura em situações de emergência. Ademais, o RPA deveria contar com sistemas de backup e capacidade para pouso autônomo.

Com todos esses requisitos atendidos e todos os pontos registrados, o drone Matrice 300 foi preparado para a primeira linha de voo. Lucas e Erick prepararam o drone, instalando as baterias e programando a trajetória do voo. Assim, o primeiro voo ocorreu às 11h30 do dia 12 de janeiro de 2023, sob céu nublado e ameaça de chuva, como ilustrado na Fig. 3.25.



Figura 3.25: Matrice 300 - Primeira Linha de Voo.

No primeiro dia, foram realizados 8 voos, com o último terminando às 16h00. O aerolevantamento pôde prosseguir até este horário graças à qualidade dos instrumentos utilizados.

No dia seguinte, 13 de Janeiro de 2023, a equipe se preparou novamente para a aquisição dos dados e realizaram-se mais 6 voos, como pode ser visto na Fig. 3.26. Foram levadas 8 baterias para a realização de todos os 6 voos, sem maiores problemas. No entanto, devido às chuvas, a missão foi abortada ao meio do dia, tendo sido realizado apenas dois voos.

O mau tempo da semana foi impeditivo para realização de voo na semana do dia 11/02/2023. Por conta disso, o voo foi reprogramado para 18 de Janeiro. Nesse dia, às 08:00, foi registrado mais uma base (Fig. 3.27). Depois, às 09:52, realizou-se o primeiro voo de finalização, partindo de um local diferente.

Finalmente, ao meio-dia de 18 de Janeiro de 2023, com mais quatro voos realizados, concluiu-se a coleta de dados para o levantamento topográfico da região da Bacia do Córrego Capetinga.

3.2.8 Metodologia Computacional

Depois de coletar todos os dados, a pesquisa avançou para a etapa de processamento das imagens e dos dados do laser, com o objetivo de gerar os produtos desejados. Assim, após a conclusão dos voos, os dados - que incluíam fotos e dados do laser - foram transferidos para um microcomputador para o processamento da ortofoto, Modelo Digital de Superfície (MDS), Modelo Digital do Terreno (MDT) e curvas de nível.



Figura 3.26: Drone Matrice 300 e Pack com 8 Baterias.



Figura 3.27: Base RTK DJI.

Essa etapa requer uma atenção meticulosa para evitar a perda de quaisquer dados coletados. É vital também estabelecer uma metodologia organizada para o armazenamento e distribuição desses dados, o que facilita a sua recuperação e utilização posterior. Isso garante uma rotina de trabalho mais eficiente e possibilita uma análise e interpretação mais precisas dos resultados.

3.2.9 Organização e Descarga dos Dados

A organização prévia é imprescindível para a transferência dos dados, pois torna o processamento mais ágil e previne contratempos que poderiam causar a perda de dados durante a movimentação entre dispositivos. Por isso, é essencial registrar e organizar a quantidade de dados coletados. Além disso, é crucial estabelecer critérios de organização para as pastas, para guardar as informações nos lugares certos. Assim, definiu-se um padrão para a organização das pastas durante a transferência dos dados (Fig. 3.28).

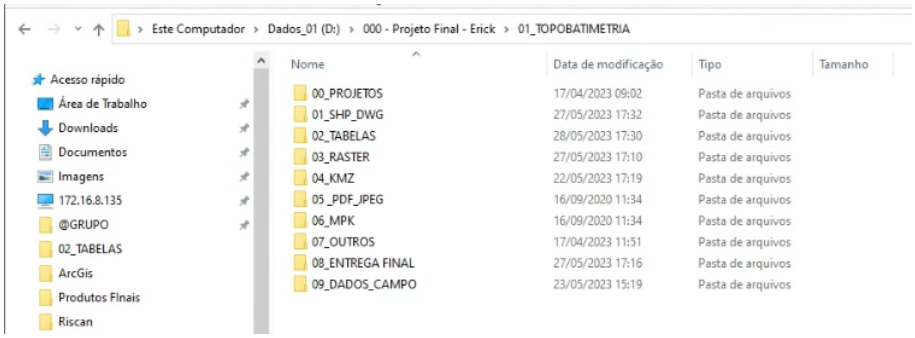


Figura 3.28: Organização das Pastas.

Este padrão se propôs a separar os dados brutos do laser e da ortofoto em uma pasta chamada "09_DADOS_CAMPO". Foram estabelecidas também pastas para os dados das coordenadas coletadas ("02_TABELAS") e para os limites das áreas levantadas ("01_SHP_DWG"). Após a realização de todos os voos e com a organização pronta, os dados foram transferidos para suas respectivas pastas. Assim, cada tipo de dado tinha um local apropriado para armazenamento. A quantidade de dados obtidos nos 17 voos totalizou 74,2 GB, incluindo fotos (georreferenciadas) e dados de laser, que foram armazenados na pasta "09_DADOS_CAMPO", conforme pode ser verificado na Fig. 3.29.

Portanto, após verificar os dados e organizar adequadamente, foi possível iniciar o processamento dos dados e a geração dos produtos finais.

3.2.10 Geração da Ortofoto

A fase de produção dos produtos começou com a criação da Ortofoto. Para isso, utilizou-se o software Agisoft Metashape, uma ferramenta robusta para processamento de imagens, que oferece funcionalidades essenciais para a criação de ortofotografia a partir dos dados fotogramétricos coletados. Dessa forma, abriu-se o software e inseriu-se as 2883 fotos capturadas para a ortofoto, conforme mostrado na Fig. 3.30.

Para garantir a correta referência de projeção da ortofoto, é essencial adicionar o datum que está sendo usado. Assim, procedeu-se à alteração do datum das fotos para o datum de trabalho, o SIRGAS 2000, como demonstrado na Fig. 3.31.

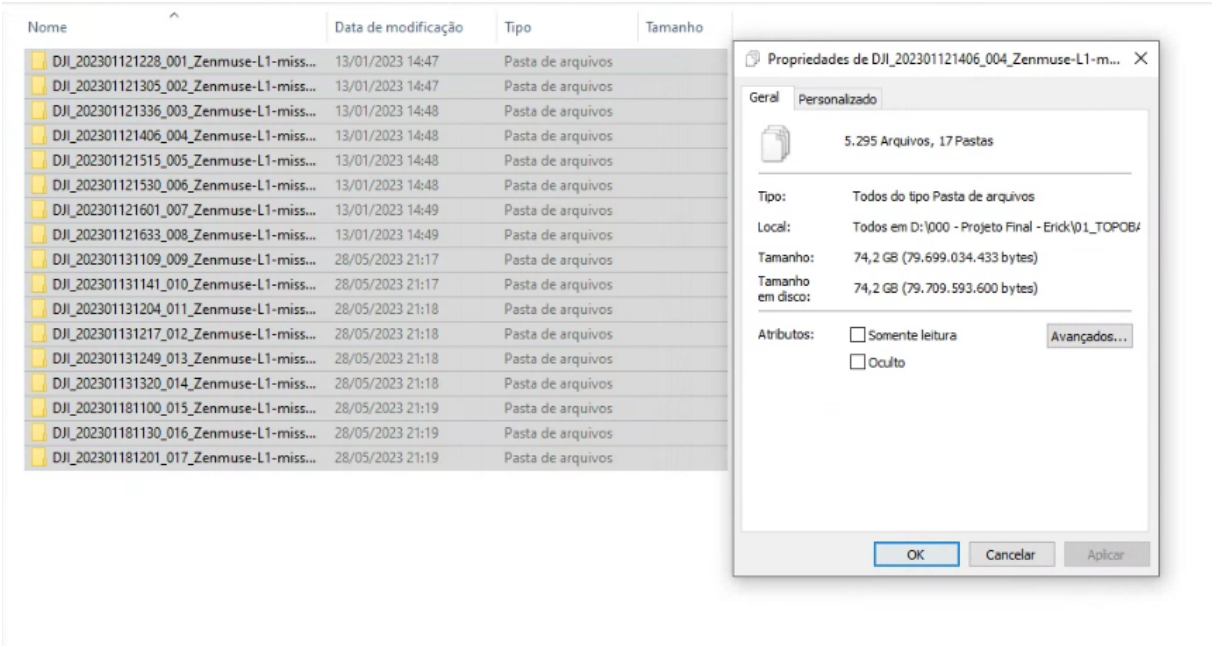


Figura 3.29: Voos realizados e dados adquiridos.

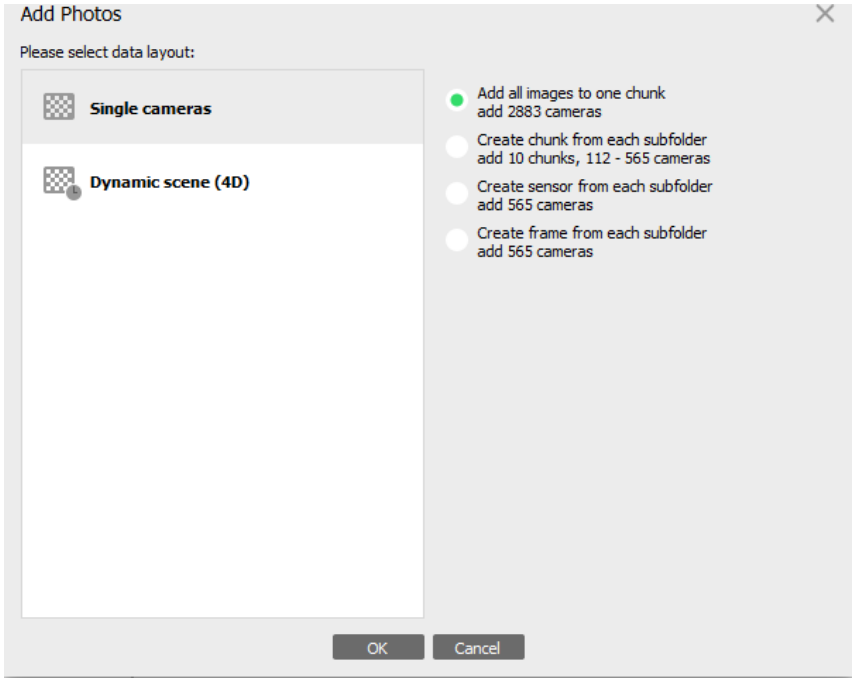


Figura 3.30: Fotos adicionadas aos AGISoft.

Com as devidas correções feitas, avançou-se para o alinhamento das fotos. Neste ponto, o Agisoft Metashape examina as sobreposições nas imagens e calcula as posições e orientações das câmeras usadas na captura. Este processo é chamado de "Align Photos", como ilustrado na Fig. 3.32, que identifica pontos correspondentes entre as imagens e estabelece suas relações espaciais.

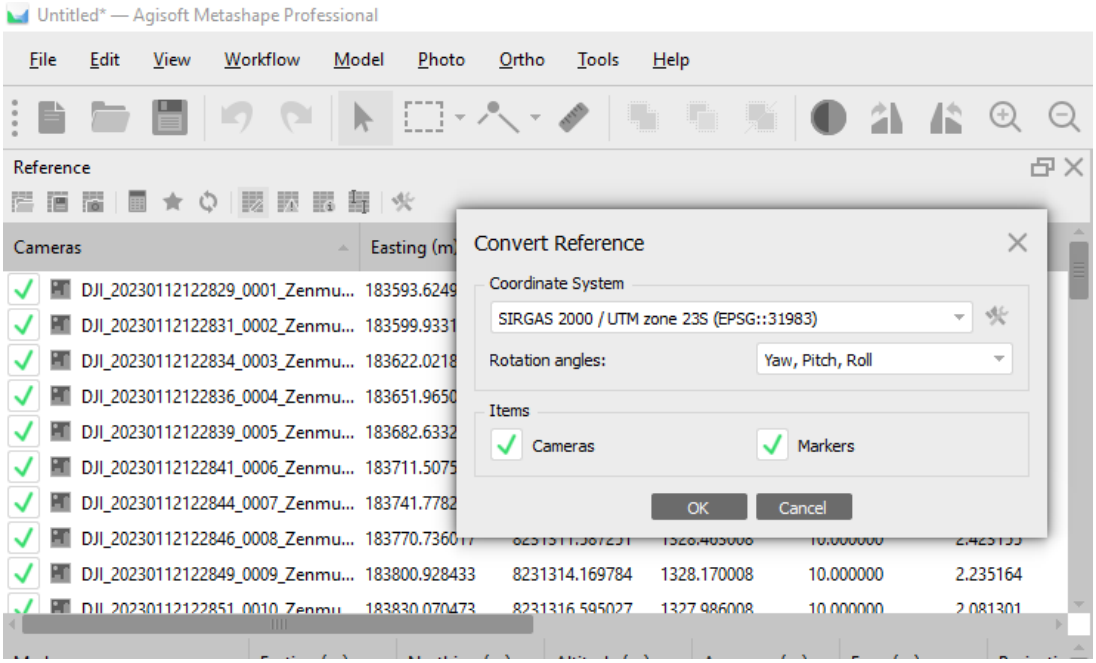


Figura 3.31: Mudança de Sistema de Coordenadas.

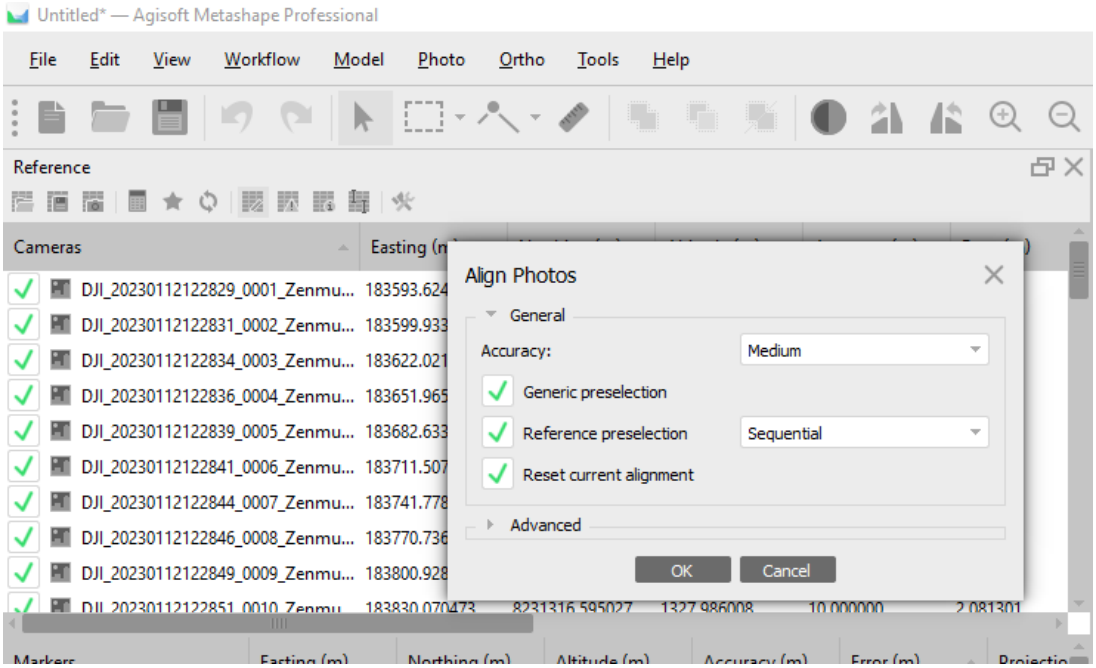


Figura 3.32: Mudança de Sistema de Coordenadas.

Depois de alinhar as fotos, verificaram-se os pontos do Sistema de Visão Humana (HVS). Esses pontos são coletados pelo GPS, como pode ser visto na Fig. 3.33, e corrigidos por uma base, de forma similar a um ponto de controle. Para que sejam identificáveis na ortofoto, os pontos devem ser corretos em termos perceptuais e de fácil interpretação, para que a pessoa responsável pelo processamento dos dados possa identificá-los eficientemente na imagem.

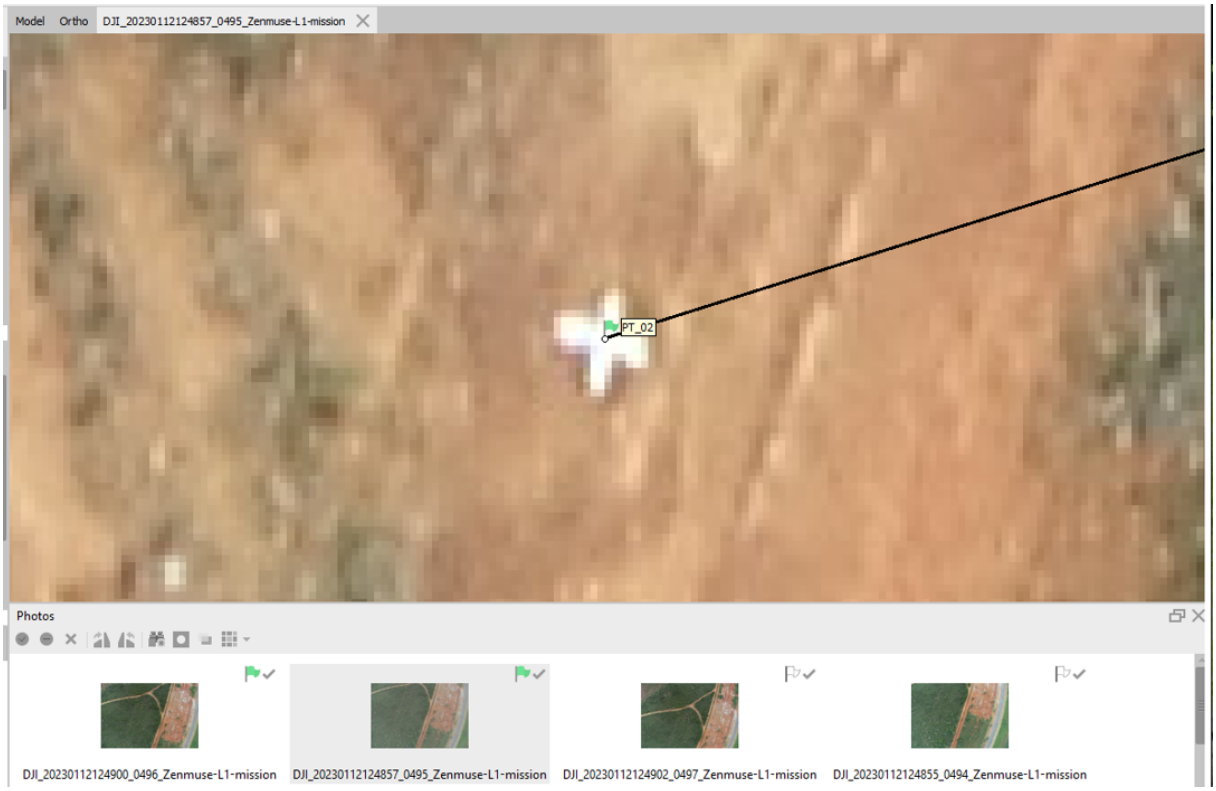


Figura 3.33: Pontos Hvs.

Nesse sentido, utilizou-se os pontos HVS para corrigir a localização das fotos, facilitando a orientação do software para uma maior precisão no posicionamento das imagens, conforme mostrado na Fig. 3.34.

Markers	Easting (m)	Northing (m)	Altitude (m)	Accuracy (m)	Error (m)	Projectio
PT_04	183634.101000	8231194.015000	1196.459000	0.005000		0
PT_05	185499.277000	8231327.479000	1192.191000	0.005000		0
PT_06	185762.090000	8232127.093000	1164.340000	0.005000		0
PT_07	186952.236000	8231067.745000	1198.472000	0.005000		0
PT_08	186513.192000	8232612.611000	1153.283000	0.005000		0
PT_09	185914.036000	8233827.912000	1109.100000	0.005000		0
PT_10	185395.767000	8234922.169000	1059.073000	0.005000		0
PT_02	184273.151000	8230960.178000	1196.939000	0.005000	0.474110	2
PT_01	184311.736000	8231067.127000	1196.334000	0.005000	1.135418	10

Figura 3.34: Tabela de Pontos Hvs.

Após a marcação de todos os pontos HVS, um novo alinhamento é realizado com o objetivo de corrigir possíveis erros associados às fotos que não estavam devidamente ajustadas. Depois desse novo alinhamento, verificou-se a qualidade da aquisição do produto pelo indicativo de erro, conforme mostrado na Fig. 3.35. Com a análise dos erros feita, seguiram-se algumas etapas para a finalização da ortofoto.

Markers	Easting (m)	Northing (m)	Altitude (m)	Accuracy (	Error (m)	Projec	Error (pix)
PT_01	184311.736000	8231067.127000	1196.334000	0.005000	0.000809	10	0.205
PT_02	184273.151000	8230960.178000	1196.939000	0.005000	0.000642	10	0.395
PT_03	183672.193000	8231553.389000	1192.043000	0.005000	0.000045	10	0.284
PT_04	183634.101000	8231194.015000	1196.459000	0.005000	0.000391	10	0.351
PT_05	185499.277000	8231327.479000	1192.191000	0.005000	0.000265	10	0.259
PT_06	185762.090000	8232127.093000	1164.340000	0.005000	0.000058	10	0.274
PT_07	186952.236000	8231067.745000	1198.472000	0.005000	0.000255	10	0.192
PT_08	186513.192000	8232612.611000	1153.283000	0.005000	0.000102	10	0.339
PT_09	185914.036000	8233827.912000	1109.100000	0.005000	0.000158	10	0.223
PT_10	185395.767000	8234922.169000	1059.073000	0.005000	0.000071	10	0.211

Figura 3.35: Pontos HVs com erro corrigido.

Depois de corrigir os erros com o novo alinhamento, alguns parâmetros são adicionados ao Agisoft Metashape para a geração da ortofoto. Primeiramente, abriu-se a janela de Batch Process e ajustaram-se os parâmetros a serem incluídos. Esses são: Build Dense Cloud, Build DEM, Build Ortomosaic e Export Ortomosaic, como mostrado na Fig. 3.36.

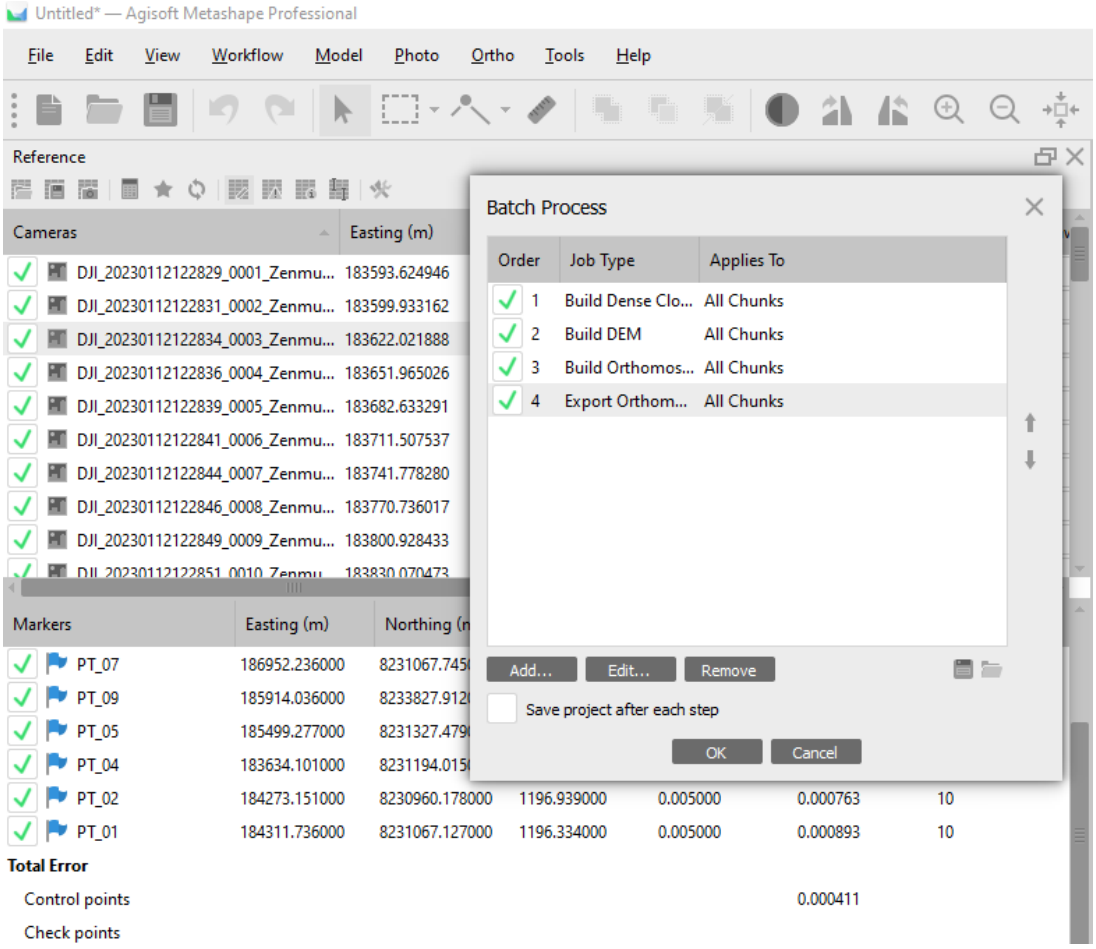


Figura 3.36: Pontos HVs com erro corrigido.

Depois de ajustar todos os parâmetros para cada etapa, selecionou-se a opção para salvar as etapas do projeto após a conclusão de cada parte. Assim, a geração do Dense Cloud levou

2 horas e 38 minutos. Depois disso, foram necessários mais 2 minutos e 28 segundos para a geração do DEM. Do mesmo modo, para a produção da ortofoto com resolução de 8cm/pixel, o tempo requerido foi de 25 minutos e 35 segundos. Por fim, para concluir todo o processo, foram necessárias 3 horas 6 minutos e 3 segundos. Dessa forma, conseguiu-se produzir todos os dados necessários para a ortofoto, garantindo uma apresentação precisa e detalhada do terreno estudado.

3.2.11 Geração do Laser

Para criar este produto, utilizou-se o software DJI Terra. Este programa é especializado na criação de mapas detalhados, possibilitando a coleta de dados geoespaciais de alta qualidade de drones e outros dispositivos de sensoriamento remoto. Com o laser L1 integrado ao drone Matrice 300, adquiriram-se dados de altíssima qualidade, que foram essenciais para a produção de um Modelo Digital de Terreno (MDT) extremamente preciso. Portanto, utilizou-se o software DJI Terra para processar os dados coletados pelo laser L1. Para isso, utilizaram-se os arquivos na pasta "09_DADOS_CAMPO"para processar o laser e criar a nuvem de pontos. O procedimento envolveu a criação de um projeto no software, como mostra a Fig. 3.37.

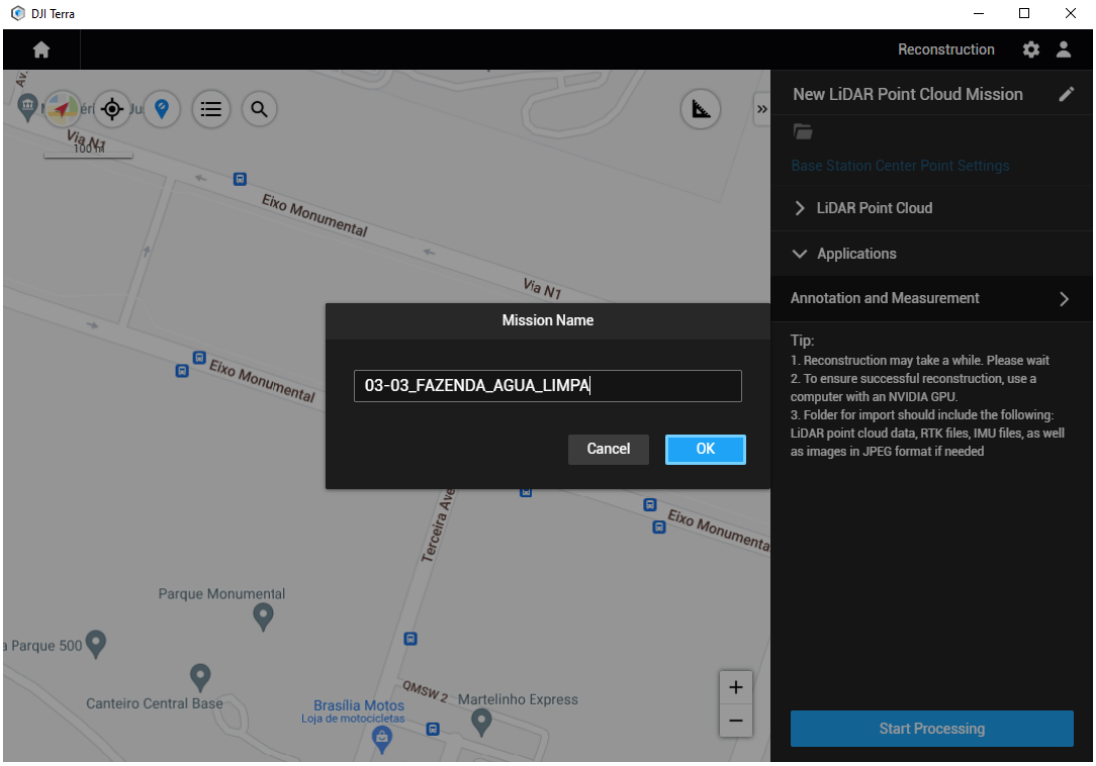


Figura 3.37: Projeto para a produção de Nuvem de Pontos.

Logo, iniciou-se o software e adicionou-se a pasta contendo os arquivos, em seguida, selecionou-se a base do arquivo para a referência correta do laser (Fig. 3.38).

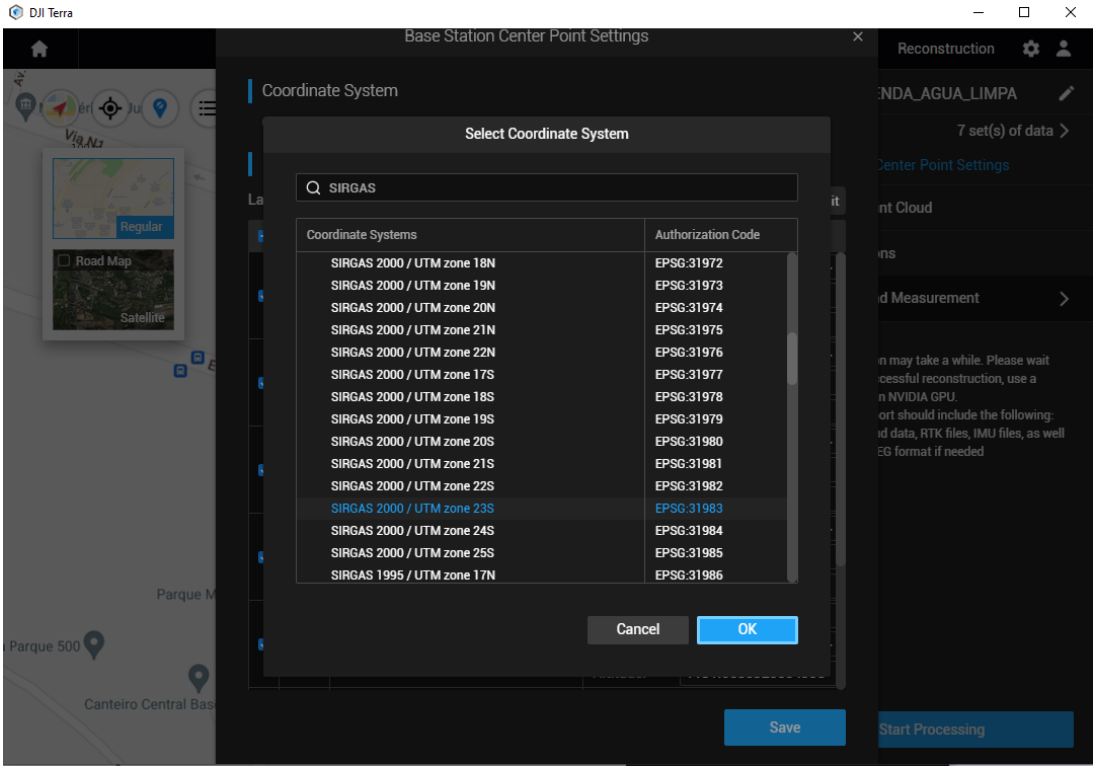


Figura 3.38: Correção do Sistema de Coordenadas.

Depois dessas etapas, definiu-se o datum de referência SIRGAS 2000 e a Zona UTM 23s para referenciar o laser, e configuraram-se alguns parâmetros necessários para o processamento do laser. Primeiro, adicionou-se a base de referência do laser e, em seguida, inseriram-se as coordenadas corretas para ajustar a localização do laser, como mostra a Fig. 3.39.

Com a base corrigida, selecionaram-se alguns parâmetros, como a densidade do ponto da nuvem, configurada no modo baixo. Também selecionou-se a otimização da precisão dos pontos. O sistema de coordenadas para este projeto, o SIRGAS 2000, foi novamente configurado. Finalmente, adicionou-se a altura da antena da base, como mostra a Fig. 3.40.

Após o preenchimento de todos os parâmetros, processou-se o laser. Esta etapa pode demorar se o arquivo requer um processamento intensivo. Para o laser em questão, estimou-se um tempo de 4 horas para o seu processamento. Ao final, obteve-se um levantamento completo do laser, como mostra a Fig. 3.41. Esta etapa é fundamental para a criação de um Modelo Digital de Terreno (MDT) mais preciso. O LIDAR capta uma quantidade excepcionalmente alta de informações dos pontos X, Y e Z da nuvem de pontos, resultando em um produto detalhado e, consequentemente, mais preciso.

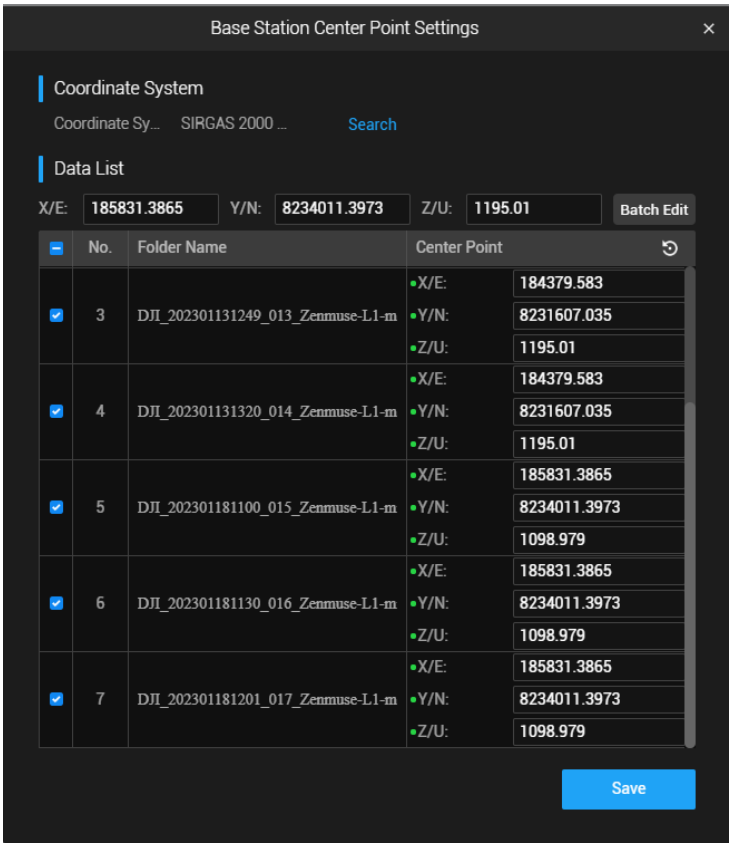


Figura 3.39: Coordenadas da Base do Laser.



Figura 3.40: Altura da antena da Base: 2 metros.

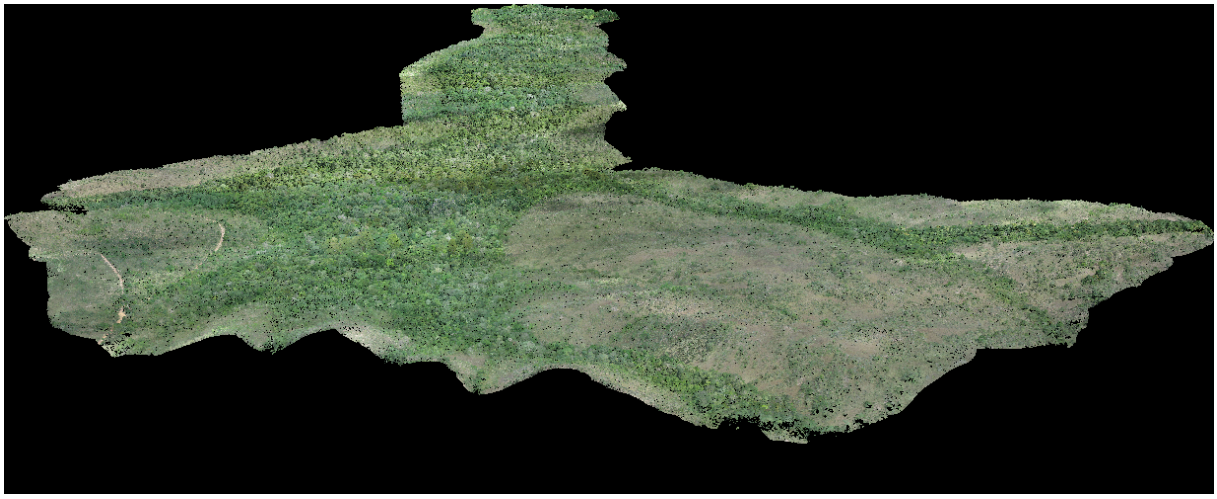


Figura 3.41: Laser da Bacia do Córrego Capetinga.

3.2.12 Processamento do Laser

Com todas as etapas de geração do laser concluídas, obteve-se um laser bruto. Este tem uma contagem de 121 074 805 pontos, equivalente a uma densidade de 869 pontos por metro quadrado, como mostrado na Fig. 3.42. Este resultado mostra a riqueza de detalhes obtida a partir do processo de sensoriamento a laser, evidenciando a eficácia do método usado neste projeto.



Figura 3.42: Nuvem Bruta.

Com a nuvem de pontos gerada, precisou-se processar os dados para que o laser produzido

possa ser usado para criar um Modelo Digital de Terreno (MDT) a partir dos dados da nuvem de pontos. Para isso, utilizou-se um software chamado Riscan-Pro, que oferece uma visualização detalhada e um processamento minucioso dos dados da nuvem de pontos.

Ao iniciar o RiscanPro, seguiu-se um procedimento simples para carregar os dados já referenciados. Primeiramente, criou-se um novo projeto e alterou-se a referência de entrada (Fig. 3.43), o que facilitou o manuseio do software com a vasta quantidade de dados disponíveis.

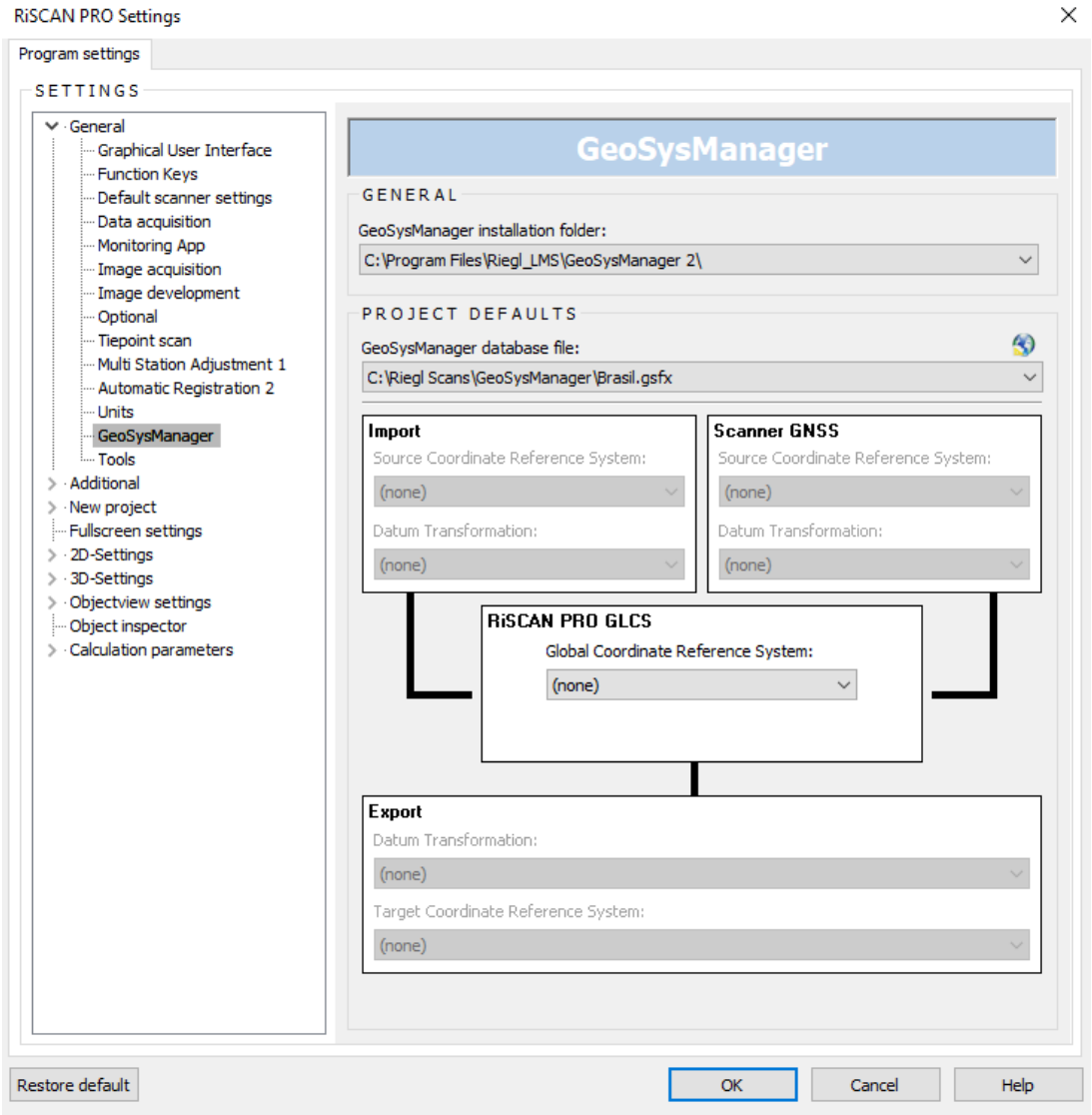


Figura 3.43: Mudanças de referência da nuvem de pontos no Software.

Considerando que o manuseio de dados georreferenciados exige um intenso processamento, especialmente pela quantidade de informações contidas em cada ponto e a densidade desses pontos nas nuvens de dados, o software Riscan estabelece um ambiente de trabalho onde essas referências são temporariamente suspensas durante o processamento, sendo recuperadas após as etapas de tratamento dos dados.

Isso permite que a manipulação dos dados no software seja mais eficiente, facilitando o processo de filtragem. A densa nuvem de pontos é importada para o software, conforme mostrado na Fig. 3.44. Este método habilita o tratamento adequado dos vastos dados coletados pelo laser L1, resultando em uma análise mais detalhada e precisa do terreno estudado.

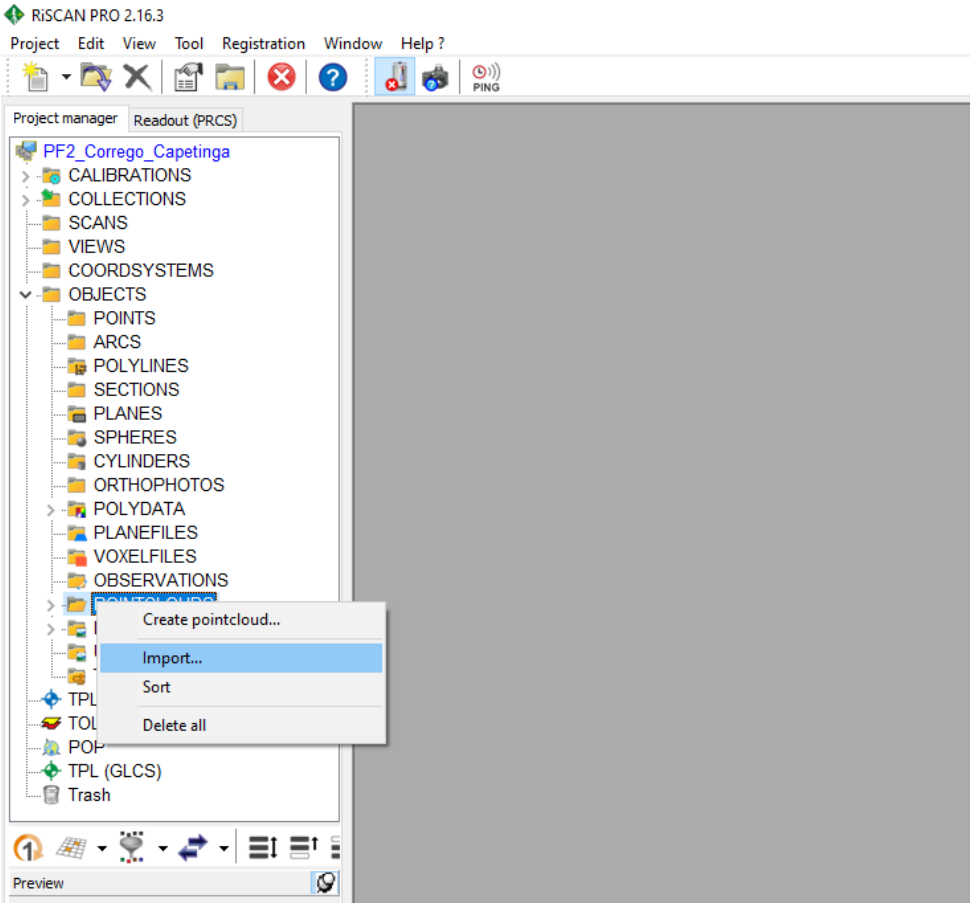


Figura 3.44: Importação da Nuvem de Pontos.

O processo de filtragem da nuvem de pontos do laser baseia-se na homogeneidade do solo, possibilitando a remoção de alguns pontos para aprimorar a análise e produzir um resultado mais exato. Assim, da nuvem bruta gerada pelo laser, filtraram-se todos os elementos que não pertencem ao terreno, como casas, árvores, pontes, pessoas, água e "spikes"causados por pequenas interferências durante a coleta dos pontos. Isso é ilustrado na Fig. 3.45. Esta etapa é vital para assegurar que apenas os elementos relevantes para a modelagem do terreno sejam levados em consideração, aprimorando a qualidade e a precisão do Modelo Digital de Terreno (MDT) produzido.

Após a completa filtragem do laser (Fig. 3.46), realizou-se um processo de suavização dos dados, chamado "Smooth", para promover uma melhor homogeneização do modelo. Este processo auxilia na redução da variabilidade entre os pontos e na produção de uma representação

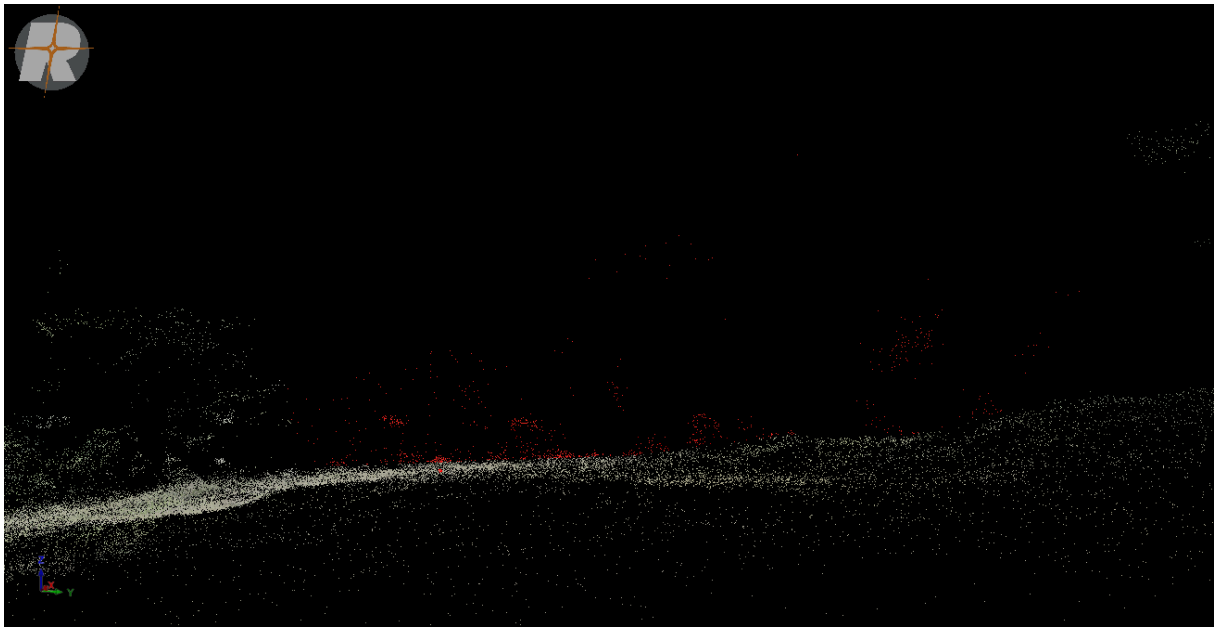


Figura 3.45: Nuvem de pontos bruta passando pelo processo de filtragem.

mais uniforme e precisa do terreno. Esta etapa é crucial para garantir que o MDT seja representativo e útil para as análises subsequentes.



Figura 3.46: Nuvem de pontos processada.

Finalmente, a suavização é executada para aperfeiçoar a visualização do Modelo Digital de Terreno. Este passo crucial melhora a interpretação dos dados e possibilita uma análise mais precisa do terreno estudado. Na Fig. 3.47, exibe-se o resultado do processamento e dos tratamentos realizados na nuvem de pontos.

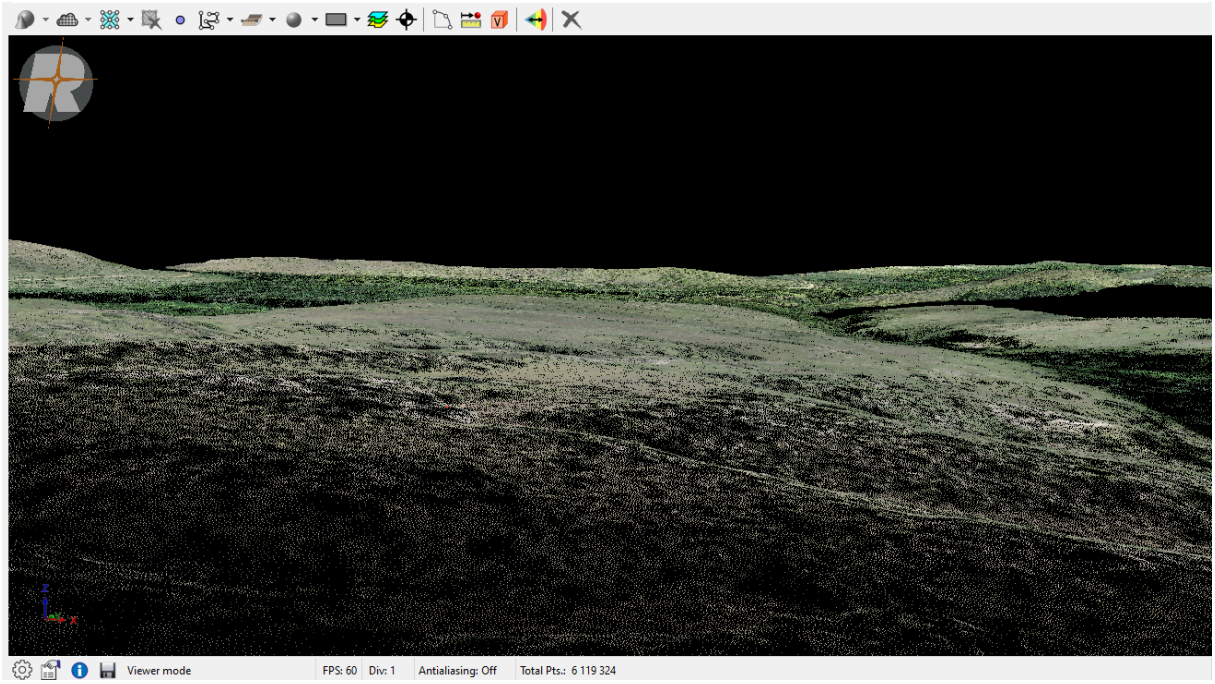


Figura 3.47: Nuvem de pontos aplicado o Smooth.

3.2.13 Geração do MDT e Curvas de Nível

A elaboração do Modelo Digital de Terreno (MDT) e das curvas de nível envolveu a utilização conjunta de vários softwares, incluindo o GlobalMapper, o Riscan-Pro e, primordialmente, o ArcGIS. Iniciou-se a construção exportando a nuvem de pontos filtrada e homogeneizada do software Riscan-Pro. Portanto, o arquivo .Las deve ser aberto no GlobalMapper, e a elevação é verificada nas áreas de interesse, como ilustrado na Fig. 3.48. Esta etapa é essencial para garantir a precisão dos dados coletados e uma representação autêntica do terreno.

Com o arquivo .las aberto no software Global Mapper, gerou-se uma Rede Irregular de Triângulos (TIN) que é exportada para a pasta dos produtos raster. Com este arquivo criado, verificou-se no software ArcGIS se a elevação do TIN corresponde aos pontos de controle coletados pelo GPS. Esta etapa é vital para garantir a precisão e a autenticidade das informações no Modelo Digital de Terreno, confirmando que os dados produzidos são confiáveis e exatos. Se houver alguma discrepância, é crucial identificar a origem do erro e corrigi-lo antes de avançar com análises subsequentes.

A verificação foi feita usando a ferramenta "Extract Values to Points", que extraiu os valores de altitude do Modelo Digital de Terreno (MDT), gerado pelo Global Mapper, nos pontos correspondentes. Assim, pôde-se avaliar as diferenças entre a altitude do ponto de controle e do mesmo ponto no MDT. Se os valores do MDT estiverem fora da margem de erro aceitável, neste caso 10 cm, um ajuste "shift"é feito para realizar pequenas correções nos dados da nuvem de pontos, para que o produto seja consistente com os pontos de controle levantados no campo.

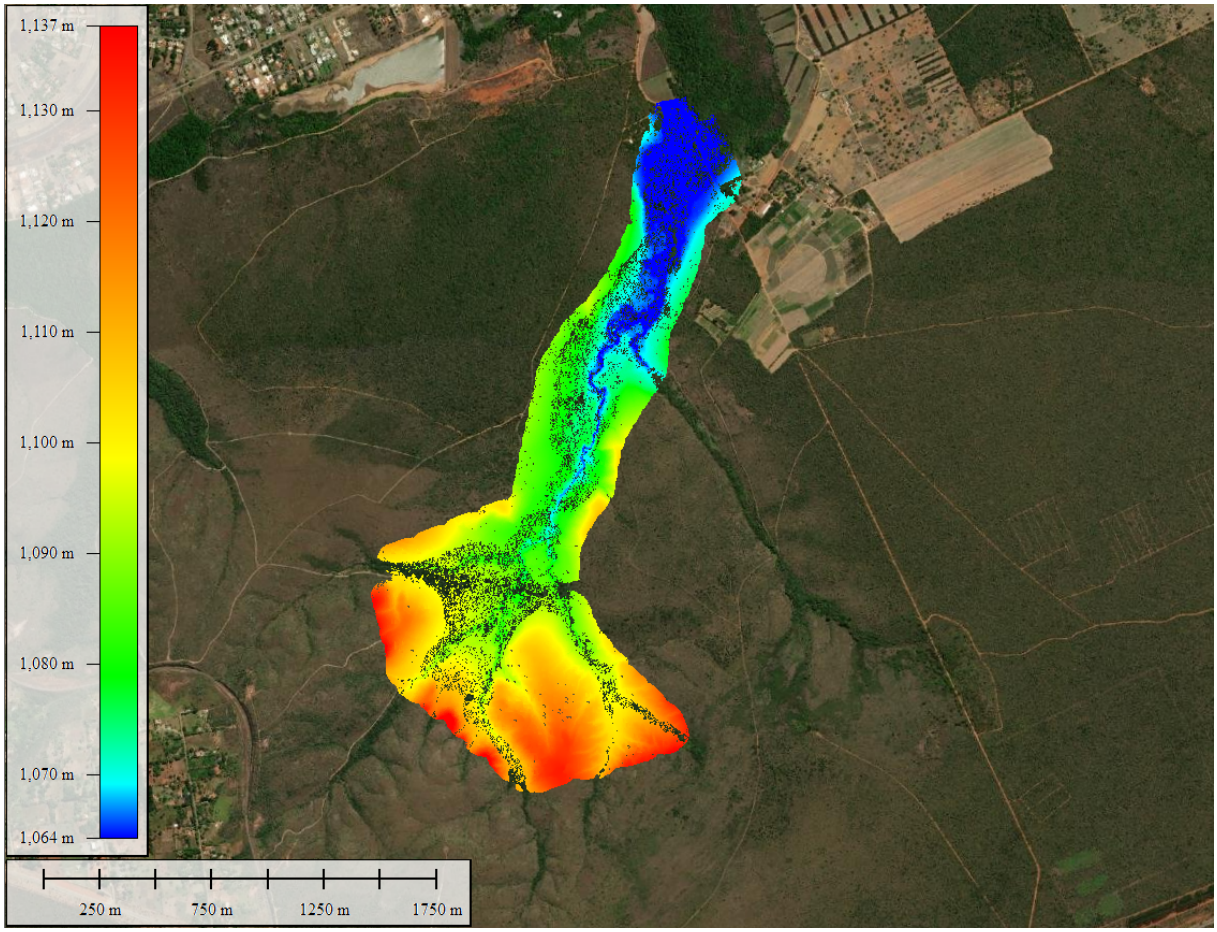


Figura 3.48: Nuvem de pontos filtrada na conferência de pontos e altitude.

Em muitas situações, a aplicação do shift não é necessária. No entanto, erros podem ocorrer, como a altura da antena, que podem distorcer os dados da nuvem de pontos. Esta análise é vital para garantir a precisão e confiabilidade dos resultados obtidos.

Após essas etapas, se necessário, o arquivo .las do Global Mapper é modificado, como explicado anteriormente. Assim, usando o arquivo .las e exportando-o como um shapefile, o próximo passo é a produção do MDT. Este é criado através do software ArcGIS. Os dados XYZ da nuvem de pontos, isto é, o arquivo .las corrigido, juntamente com o limite do .las adquirido durante o levantamento, são inseridos, conforme podemos ver na Fig. 3.49. Este processo garante que todos os dados geográficos relevantes são incluídos no MDT, permitindo uma análise completa e precisa da topografia do local.

Depois de concluir essas etapas, utilizou-se a ferramenta "Topo to Raster"para criar um modelo que represente adequadamente os pontos inseridos através do arquivo shapefile. Ao final desse processo, um raster do MDT é gerado. Essa etapa levou cerca de 2 horas e 30 minutos para ser concluída. Após esse tempo, obtiveram-se como resultado o MDT e as curvas de nível. Na Figura 3-51, é possível visualizar o resultado do processamento e a representação do MDT gerado pelo software ArcGIS.

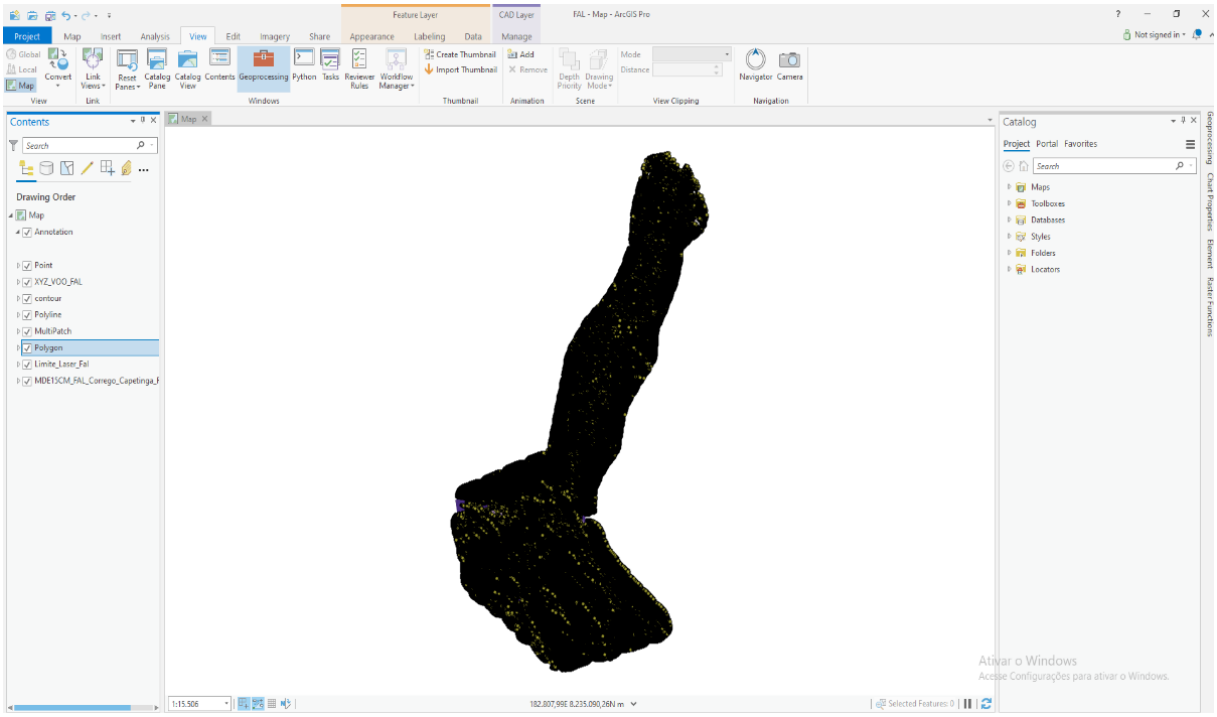


Figura 3.49: Limites e Pontos (XYZ), para a produção do MDT.

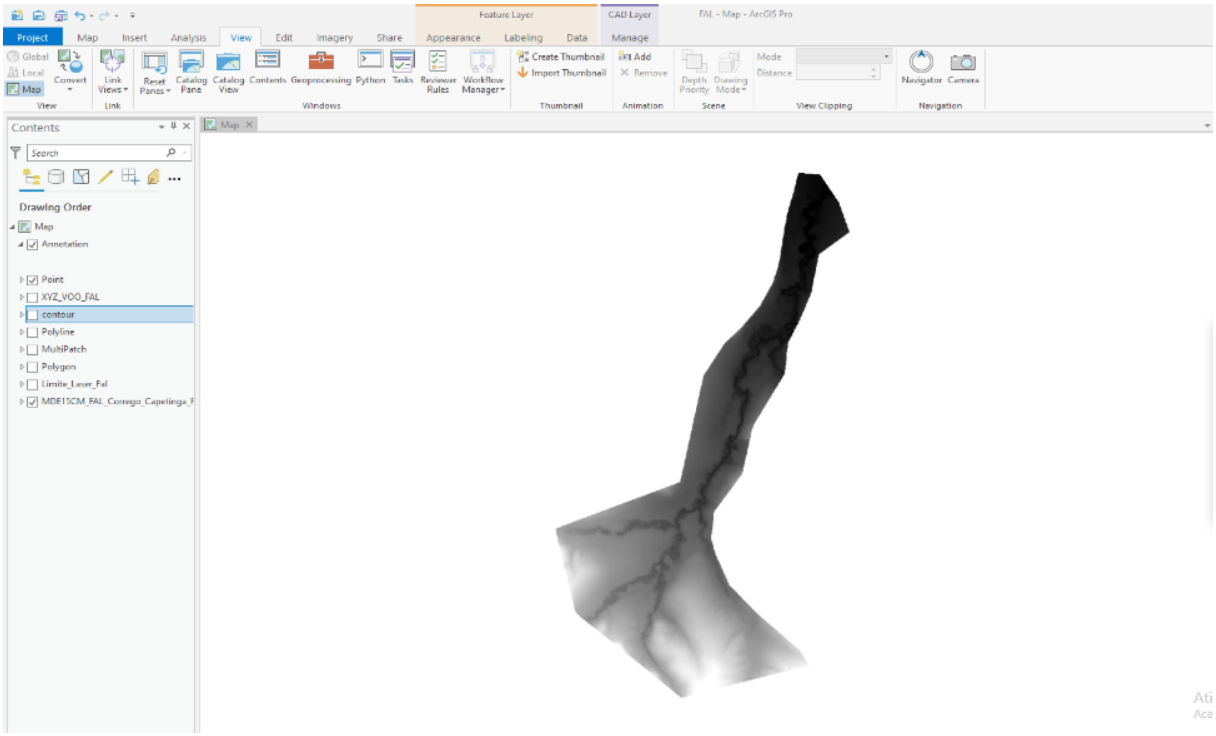


Figura 3.50: Resultado do processamento do XYZ e Limite.

Para avaliar a qualidade do produto final, usaram-se pontos HVs para verificar a altitude e a planimetria do MDT. Da mesma forma, verificou-se também se as curvas de nível estão em consonância com o modelo proposto e com as altitudes da região. Essas verificações são

essenciais para garantir a precisão e a relevância do Modelo Digital de Terreno produzido. Cada uma dessas etapas contribui para a criação de um MDT detalhado e preciso que pode ser usado para análises e estudos subsequentes de topografia e geografia do local estudado.

4. Resultados

Neste trabalho de conclusão de curso, foram apresentados alguns produtos resultantes do aerolevantamento realizado na Bacia do Córrego Capetinga. O objetivo deste estudo é fornecer dados precisos e de alta resolução para uma plataforma de mapeamento do potencial de recarga do aquífero da FAL. Esses dados enriquecem e aprimoram o modelo de avaliação de multicritérios proposto para avaliar o potencial de recarga do aquífero.

A recarga de aquíferos é um estudo complexo que envolve variáveis como clima, propriedades do solo, vegetação, geologia, geomorfologia e padrões de uso e ocupação da terra. Os produtos deste estudo, como a ortofoto, MDS, MDT e curvas de nível, serão usados como dados de entrada para gerar mapas de uso e cobertura do solo e declividade, elementos fundamentais para o cálculo da recarga. Além disso, a análise da dinâmica ambiental auxilia na gestão sustentável dos recursos hídricos do território, com o objetivo de mitigar crises hídricas.

O levantamento proposto, portanto, adiciona informações valiosas para o projeto de pesquisa GeoPARLARe do grupo de pesquisa Geofluxo, melhorando nossa compreensão do potencial de recarga do aquífero na Bacia do Córrego Capetinga.

4.1 Ortofoto

Com base nos resultados obtidos, avançou-se para o processamento digital da imagem para criar um mapa de alta qualidade (escala 1:15000), como mostrado na Fig. 4.1. Essa imagem fornece uma precisão significativamente maior para os mapas futuros a serem gerados a partir deste levantamento, graças à sua ortofoto com uma resolução espacial de 8 cm/pixel.

A alta resolução espacial da ortofoto proporciona uma representação detalhada e precisa da área mapeada. Isso significa que os detalhes do terreno, como altitudes, declives e outros elementos geográficos, são retratados com clareza, permitindo análises mais acuradas.

A imagem também destaca a localização do voo, que coincidiu com uma das maiores altitudes do terreno. Essa condição favoreceu a aquisição de dados pelo drone, garantindo que nenhum aspecto importante fosse perdido durante o levantamento.

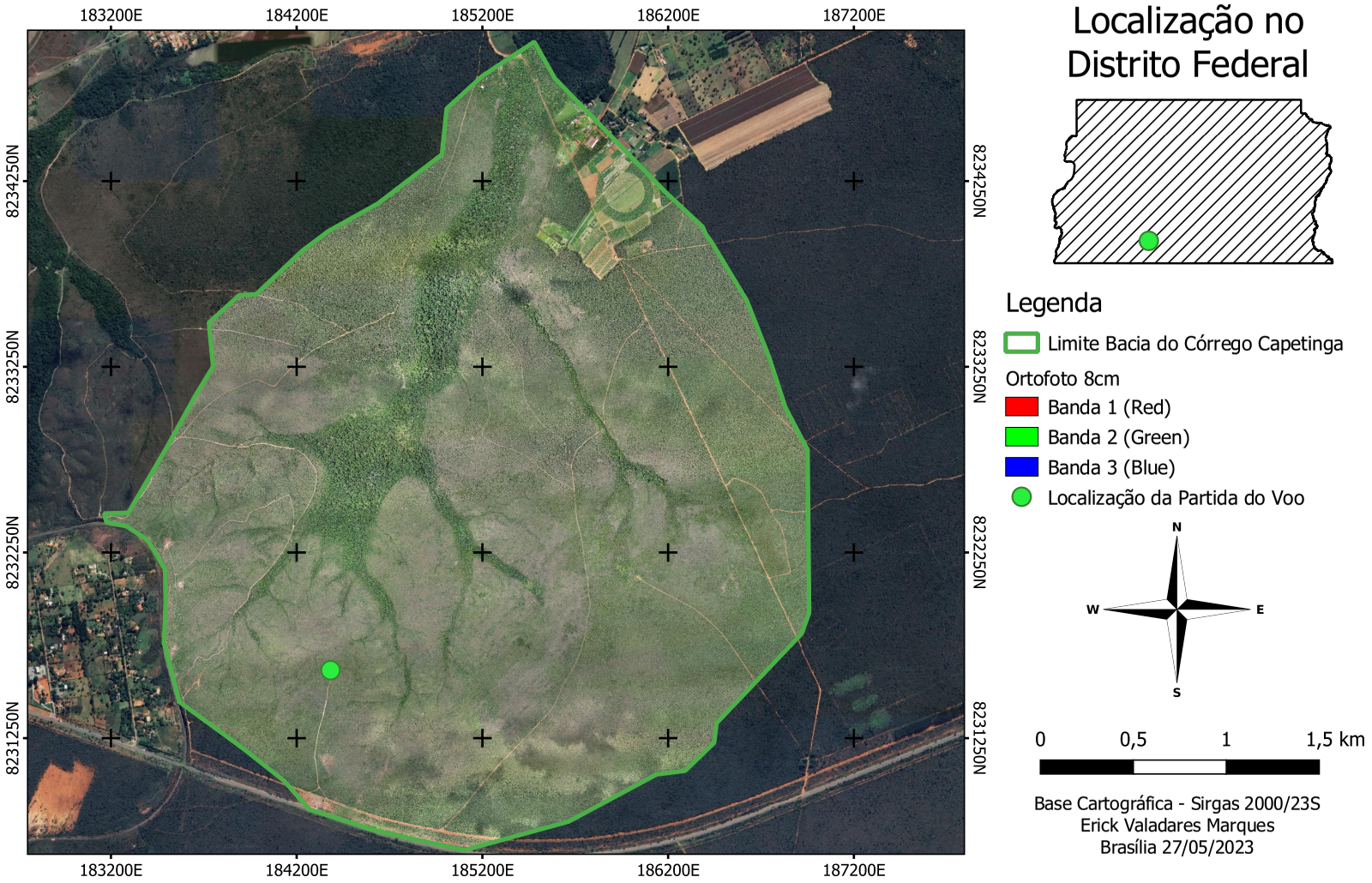


Figura 4.1: Carta imagem da Ortofoto da Região da Bacia do Córrego Capetinga.

4.2 MDS e Curvas de Nível (Ortofoto)

Além disso, a partir do produto gerado pelo Agisoft Metashape para a produção da ortofoto, criou-se um Modelo Digital de Superfície (MDS) com resolução espacial de 35 cm/pixel ou seja cada pixel dessa imagem representa uma área de 35cm por 35cm, visando uma melhor avaliação das áreas. Como observado na Fig. 4.2 do MDS, há uma floresta ciliar exuberante ao redor do rio. Apesar da resolução ser um pouco mais baixa, não foi possível destacar as áreas de drenagem urbana como no modelo MDT a partir do levantamento a laser. No entanto, a criação deste MDS ainda forneceu resultados satisfatórios, permitindo compreender dados importantes, como tipo e altura da vegetação, percurso dos principais cursos d'água e o modelo que acompanha a elevação do terreno.

Também com o MDS pode-se, delimitar o limite da Bacia Hidrográfica. Essa informação é importante uma vez que as bacias hidrográficas representam unidades naturais de drenagem, onde a água escoa para o ponto de saída comum. Dessa forma, a delimitação da bacia ajuda a entender como a água se distribui na região e a identificar as áreas que contribuem para a recarga de áquifero. Por fim, o MDS permite vizualizar as características da superfície, como declives, vales, encostas e áreas de drenagem. Essa informações são cruciais para identificar as áreas que contribuem para a recarga de aquífero.

As curvas de nível que foram geradas, apresentadas na Fig. 4.3, com intervalos de 1 metro derivadas do modelo MDS, provaram ser muito úteis para futuros projetos que requerem dados topográficos precisos da área da Bacia do Córrego Capetinga. Elas oferecem uma representação visual nítida e detalhada do relevo do terreno, permitindo uma compreensão melhor das variações de altitude.

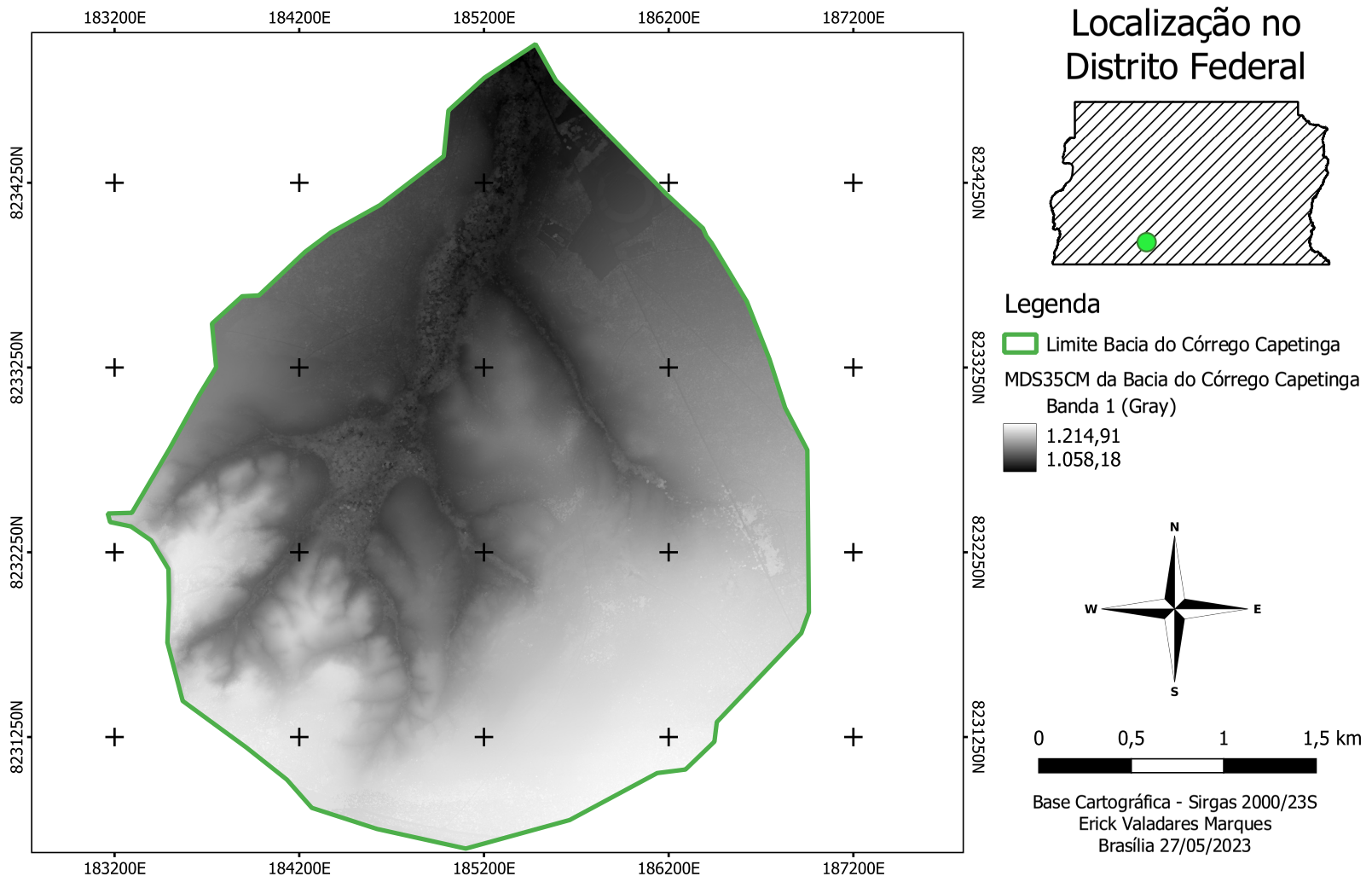


Figura 4.2: Carta do MDS gerado pela nuvem de pontos da Ortofoto.

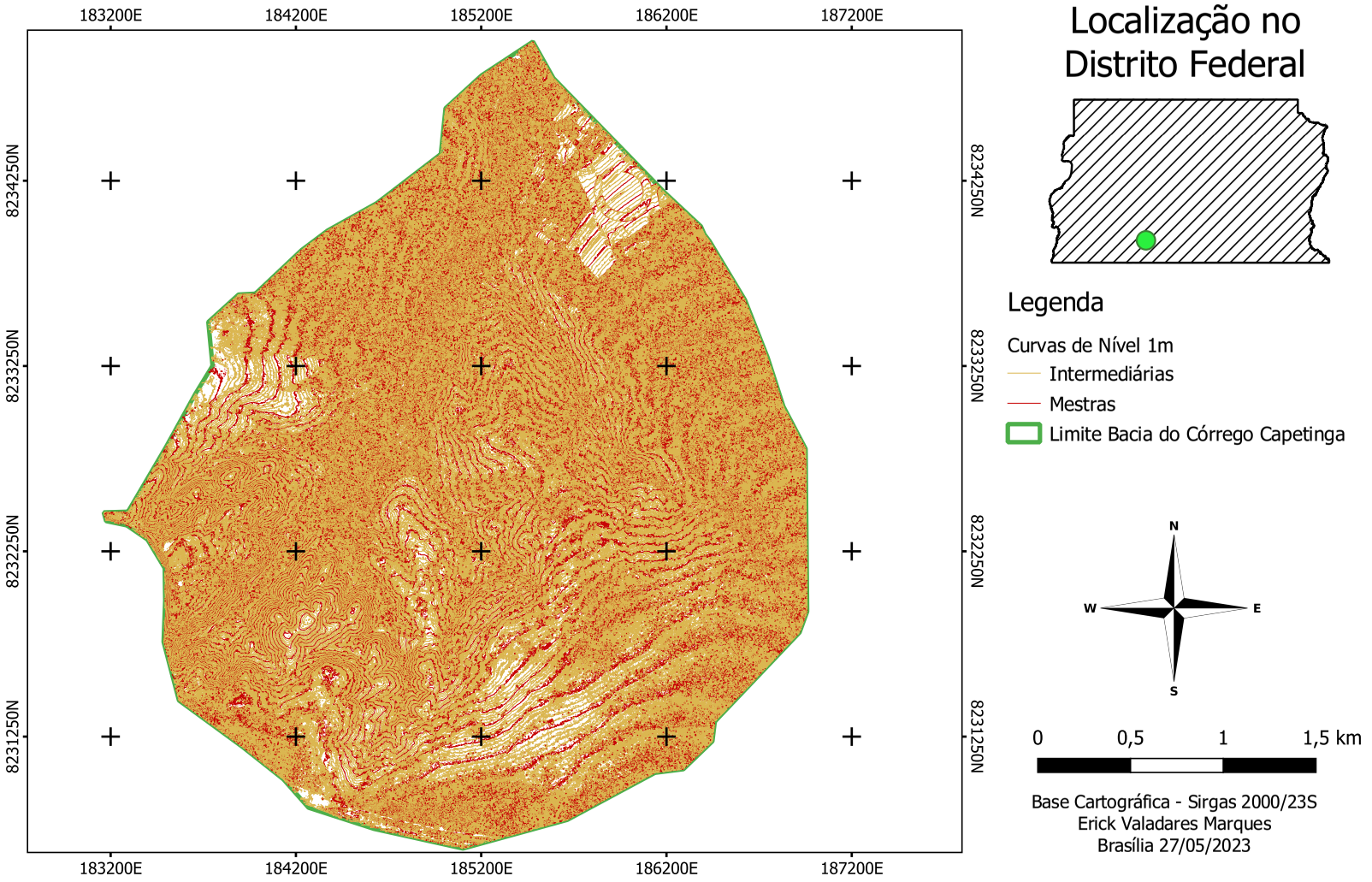


Figura 4.3: Carta das curvas de nível de 1m.

4.3 MDT e Curvas de Nível (Laser)

Os produtos de maior qualidade resultantes deste estudo foram o MDT com resolução de 15 cm e as curvas de nível com espaçamento de 50 cm. Estes resultados possibilitaram uma visão clara do modelo de drenagem da Bacia do Córrego Capetinga, fornecendo informações precisas sobre as alturas e dimensões das áreas que contribuem para o fluxo de água neste córrego.

O MDT, ilustrado na Fig. 4.4, com uma resolução de 15 cm, mostrou-se extremamente útil, apresentando uma representação detalhada e precisa das variações de altitude do terreno. Isso permitiu uma análise cuidadosa das características da paisagem e das áreas que abastecem a Bacia do Córrego Capetinga. Por meio do MDT, conseguiu-se identificar com precisão as altitudes e declives nas áreas ao redor do córrego, contribuindo para uma compreensão mais completa do sistema hidrográfico.

As curvas de nível produzidas, representadas na Fig. 4.5, a partir do MDT com intervalos de 50 cm, são de vital importância para o estudo e análise do terreno na região em questão. Estas curvas conectam pontos de igual elevação, permitindo visualizar claramente as variações de altitude do terreno.

A relevância de ter curvas de nível a cada 50 cm está em sua capacidade de fornecer informações detalhadas sobre o relevo da área mapeada. Com este intervalo relativamente pequeno, é possível identificar e delimitar com maior precisão áreas de maior ou menor inclinação, encostas, depressões e os pontos mais elevados do terreno.

Estas curvas de nível mais próximas entre si permitem uma análise mais detalhada das características topográficas, auxiliando na identificação de padrões geomorfológicos, como cristas, ravinas, encostas íngremes ou áreas planas. Essas informações são essenciais para uma melhor compreensão do terreno, além de serem cruciais para a tomada de decisões em projetos como o estudo do potencial de recarga de aquífero.

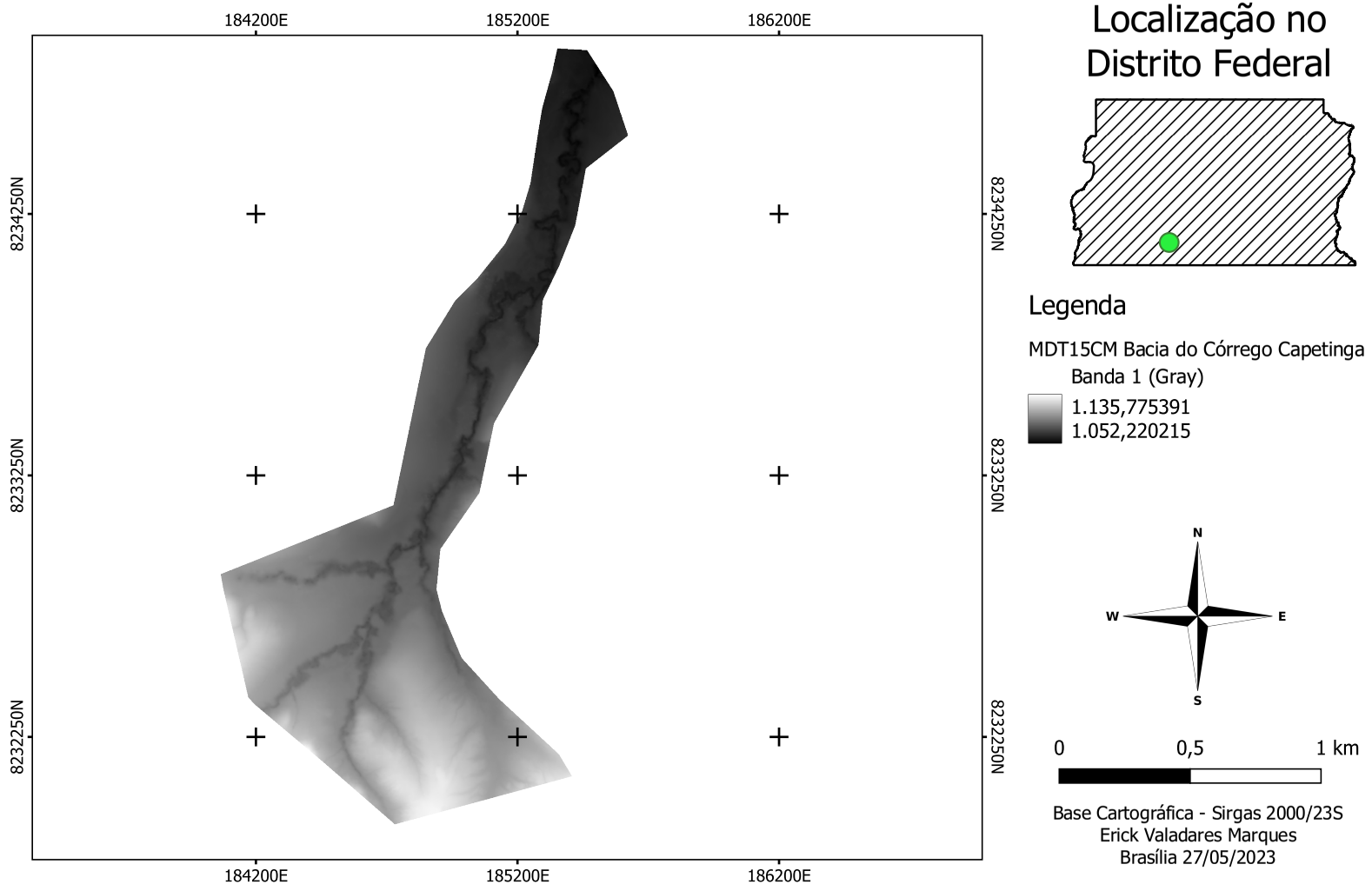


Figura 4.4: Carta do MDT gerado pelo Lidar.

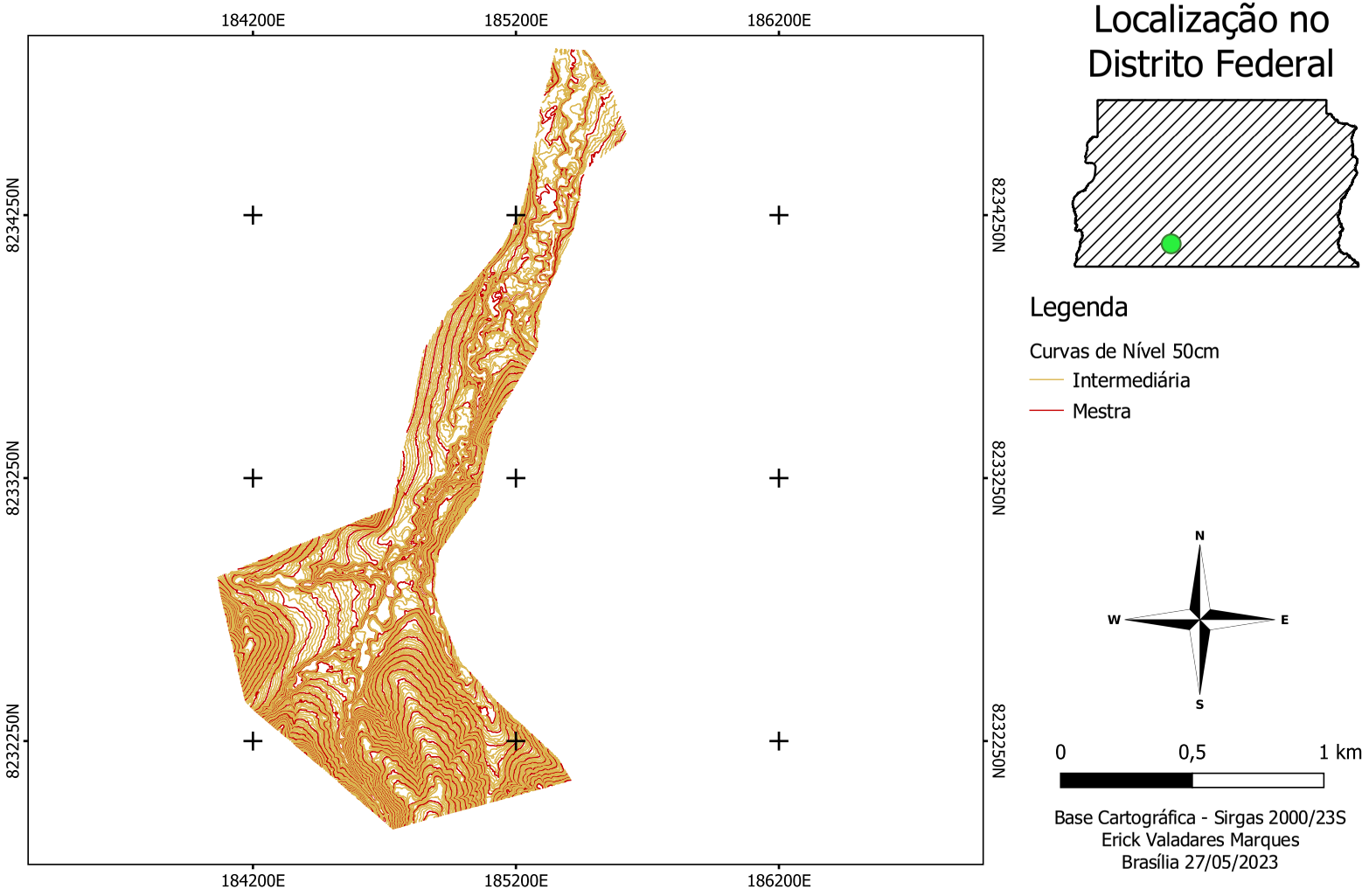


Figura 4.5: Carta das curvas de nível de 50cm.

5. Conclusão

Ao cumprir os objetivos estabelecidos para este estudo, conseguiu-se obter resultados significativos no mapeamento e análise da Região da Bacia do Córrego Capetinga. Inicialmente, empregou-se a tecnologia do Drone Matrice 300 na primeira fase do trabalho. Como resultado, realizou-se um levantamento aéreo da maior parte da Fazenda Água Limpa (FAL/UNB), capturando imagens de alta resolução que foram fundamentais na elaboração das cartas altimétricas do terreno.

Usando a combinação de técnicas de fotogrametria e lidar, conseguiu-se reconstruir a geometria tridimensional do terreno de forma precisa e detalhada. Como visto nas cartas, a fotogrametria possibilitou a extração de informações sobre o relevo a partir das imagens capturadas pelo drone, enquanto o lidar forneceu dados altimétricos precisos. A integração dessas duas técnicas ofereceu uma visão abrangente e completa da Bacia do Córrego Capetinga. Dessa forma, foi obtido um resolução espacial do MDT de 225 cm² por área de pixel e uma precisão altmétrica de 10 centímetros.

Com os dados coletados, gerou-se curvas de nível de 1 metro em 1 metro e 50 cm em 50 cm, que delimitam a área da FAL/UNB e da Bacia, respectivamente, representando as variações de altitude do terreno. Estas curvas de nível são essenciais para a compreensão da topografia da região, auxiliando na análise hidrográfica e na identificação de áreas críticas em termos de erosão e drenagem.

As vantagens do levantamento feito por RPA foi a capacidade de obter os dados mesmos com o tempo nublado e além disso, caso existisse a necessidade seria possível obter resoluções temporais aquisicionadas em horas, facilitando muito algumas analises de mudanças territorias e hidrográficas.

A utilização dos softwares mencionados e do Sistema de Informação Geográfica (SIG) facilitou a extração e o refinamento das curvas de nível, garantindo a precisão e a continuidade das linhas de contorno. Ademais, o Modelo Digital de Elevação (MDE) gerado a partir dos dados coletados permitirá a realização de análises mais profundas, como a determinação de áreas de maior declividade e a geração de perfis topográficos.

Concluindo, a elaboração das cartas altimétricas e das curvas de nível representa um avanço importante na compreensão do terreno, fornecendo informações valiosas para tomadas de de-

cisões da capacidade da recarga de aquífero da região da Bacia do Córrego Capetinga na FAL/UNB. Além disso, este trabalho contribui para o avanço de estudos hidrológicos, planejamento territorial, agrícola e ambiental, além de auxiliar na gestão sustentável dos recursos naturais da bacia.

Referências

ABNT (2021). Execução de levantamento topográfico - procedimento.

Ali, E. (2020). Geographic information system (gis): definition, development, applications & components. *Department of Geography, Ananda Chandra College. India*.

ANAC (2023a). Gnss systems. `https://chcnav.com/products/gnss-systems`. [Online; acessado em 03. Jan. 2023].

ANAC (2023b). O que são drones. `https://www.anac.gov.br/perguntas-frequentes/drones/aeronaves/o-que-sao-drones`. [Online; acessado em 20. Jan. 2023].

Aquino, A. F. d. et al. (2013). Manual técnico de posicionamento: Georreferenciamento de imóveis rurais. *Brasília: INCRA*.

Arulbalaji, P., Padmalal, D., and Sreelash, K. (2019). Gis and ahp techniques based delineation of groundwater potential zones: a case study from southern western ghats, india. *Scientific reports*, 9(1):2082.

ASP, Slama, C., Theurer, C., and Henriksen, S. (1980). *Manual of Photogrammetry*. American Society of Photogrammetry. American Society of Photogrammetry.

Boroushaki, S. and Malczewski, J. (2008). Implementing an extension of the analytical hierarchy process using ordered weighted averaging operators with fuzzy quantifiers in arcgis. *Computers & geosciences*, 34(4):399–410.

Burrough, P. (1998). Dynamic modelling and geocomputation. geocomputation: A primer. p. longley, s. brooks, r. mcdonnell and b.

Burrough, P. A., McDonnell, R. A., and Lloyd, C. D. (2015). *Principles of geographical information systems*. Oxford university press.

Campos, J. and Gonçalves, T. (2015). Diretrizes para o desenvolvimento de recarga artificial de aquíferos no distrito federal. *Relatório de Consulta Técnica. Brasília–DF: Adasa*.

Carrilho, A. C. (2016). Aplicação de técnicas de processamento e análise de imagens para detecção de edificações e vegetação a partir de dados lidar.

Coelho Júnior, J. M., Rolim Neto, F. C., and Andrade, J. d. S. C. d. O. (2020). Topografia geral.

Colwell, R. and ASP (1983). *Manual of Remote Sensing*. Number v. 1 in Manual of Remote Sensing. American Society of Photogrammetry.

Costa, L. G. G. and Amorim, A. (2009). Geração de ortofotos para produção de mapas de danos. In *Proceedings of the XIII Congresso da Sociedade Ibero-Americana de Gráfica Digital–SIGRADI*, pages 62–64.

da Silva, D. C. and Dalmolin, Q. (2000). O problema das especificações em serviços aerofotogramétricos e derivados.

Dantas, B. O. (2019). Aplicação de geotecnologias (gnss, lidar e vant) para estudo de drenagem e sedimentos: estudo de caso da bacia de detenção do guará–df.

De Vries, J. J. and Simmers, I. (2002). Groundwater recharge: an overview of processes and challenges. *Hydrogeology Journal*, 10:5–17.

dos Santos, A. L. S., Amaro, V. E., and Santos, M. S. T. (2014). Terrestrial laser scanner applied to monitoring beach morphological changes in a high energy coastal zone in northeast brazil. *MST: Rome, Italy*.

Doubek, A. (1989). *Topografia*. Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

Eisenbeiss, H. et al. (2004). A mini unmanned aerial vehicle (uav): system overview and image acquisition. *International Archives of Photogrammetry. Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 36(5/W1):1–7.

Espartel, L. (1965). *Curso de topografia*. Globo.

Fitz, P. R. (2008). *Cartografia básica*. Oficina de Textos.

Florenzano, T. (2007). *Iniciação em Sensoriamento Remoto*. Oficina de Textos.

Fontes, L. (2005). Fundamentos de aerofotogrametria aplicada à topografia. *Universidade Federal da Bahia–Técnicas de Geomensura*.

Freeze, R. and Cherry, J. (1979). *Groundwater*. 0-13-365312-9. Prentice-Hall.

GeoPARLARe (2020). Geofluxo platform to assess the risk of loss of aquifer recharge.

Healy, R. W., Winter, T. C., LaBaugh, J. W., and Franke, O. L. (2007). *Water budgets: foundations for effective water-resources and environmental management*, volume 1308. US Geological Survey Reston, Virginia.

IBGE (2022). Serviço online para pós-processamento de dados gnss. `https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-sobre-posicionamento-geodesico/servicos-para-posicionamento-geodesico/16334-servico-online-para-pos-processamento-de-dados-gnss-ibge-ppp.html?=&t=o-que-e`. [Online; acessado em 12. Nov. 2022].

INPE (2002). Fundamentos de geoprocessamento - tutorial.

Jacek, S. (1997). Landform characterization with geographic information systems. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 63(2):183–191.

Jacobs, P. G. (2005). Assessing rtk gps for a suburban survey practice.

Jensen, J. R. and Epiphanio, J. C. N. (2009). *Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres*. Parêntese Editora São José dos Campos.

Kahmen, H. and Faig, W. (2012). Surveying. In *Surveying*. de Gruyter.

Lentswe, G. B. and Molwalefhe, L. (2020). Delineation of potential groundwater recharge zones using analytic hierarchy process-guided gis in the semi-arid motloutse watershed, eastern botswana. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 28:100674.

Makonyo, M. and Msabi, M. M. (2022). Potential landfill sites selection using gis-based multicriteria decision analysis in dodoma capital city, central tanzania. *GeoJournal*, 87(4):2903–2933.

Malczewski, J. and Rinner, C. (2015). *Multicriteria decision analysis in geographic information science*, volume 1. Springer.

Martin, L. (2018). Resolução, o que é exatamente? - EngeSat. `http://www.engesat.com.br/resolucao-o-que-e`. [Online; accessed 22. Jan. 2023].

McCormac, J. C. (1989). *Topografia*. Editora LTC - Livros Técnicos e Científicos S.A, Rio de Janeiro.

Melo, L. (2014). Aerofotogrametria: uma revisão histórica e técnica. *Revista Brasileira de Geomática*, 32:99–111.

Pacheco, A. d. P., Centeno, J. A. S., Assunção, M. G. T. d., and Botelho, M. F. (2011). Classificação de pontos lidar para a geração do mdt. *Boletim de Ciências Geodésicas*, 17:471–438.

Paredes, E. A. (1987). *Introdução à aerofotogrametria para engenheiros*. CNPq.

Pedrosa, B. M. and Câmara, G. (2004). Modelagem dinâmica e geoprocessamento. *EMBRAPA, Brasılia, DF, Brasil*.

Prodanov, C. C. and De Freitas, E. C. (2013). *Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico-2ª Edição*. Editora Feevale.

Reeves, R. and ASP (1975). *Manual of Remote Sensing: Theory, instruments, and techniques*. Manual of Remote Sensing. American Society of Photogrammetry.

Ribeiro, S. C. L. (1995). Automação fotogramétrica e geração de modelos digitais do terreno (MDTs). *Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.*

Rodrigues, F. S. (2020). Vant: de sua criação aos dias atuais. *Ciências Aeronáuticas-Unisul Virtual*.

Rosa, R. and Brito, J. L. S. (2013). Introdução ao geoprocessamento. *UFU: Apostila. Uberlândia*.

Segantine, P. and Silva, I. (2015). *Topografia para engenharia: teoria e prática de geomática*, volume 1. Elsevier Brasil.

Silva, R. et al. (2019). Avaliação de integridade estrutural de edifícios utilizando radar de penetração no solo. *MST: Rome, Italy*, 12(3).

Silva Junior, E. E. d. A. (2019). Geotecnologias e planejamento urbano: proposta metodológica e avaliação de dados obtidos por aeronaves remotamente pilotadas (rpa) como contribuição à cartografia geotécnica. *Universidade de Brasília*.

Veiga, L. A. K., Zanetti, M. A. Z., and Faggion, P. L. (2012a). Fundamentos de topografia. *Universidade Federal do Paraná*.

Veiga, M. et al. (2012b). Aplicação de técnicas de fotogrametria digital para levantamentos topográficos. *Revista Brasileira de Cartografia*, 64(2):191–204.

Wutke, J. D. and Centeno, J. A. S. (2007). Métodos para avaliação da resolução de sistemas de varredura a laser terrestres. *Boletim de Ciências Geodésicas*, 13(1):151–164.