



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE ANGICOS
CURSO DE CIÊNCIAS DE TECNOLOGIA

ALEX DA SILVA DANTAS

Estudo da variação em parâmetros de voos utilizando VANT: Um estudo de caso
realizado no Campus UFERSA Angicos

ANGICOS

2024

ALEX DA SILVA DANTAS

Estudo da variação em parâmetros de voos utilizando VANT: Um estudo de caso
realizado no Campus UFERSA Angicos

Monografia apresentada à Universidade
Federal Rural do Semi-Árido como
requisito para obtenção do título de
Bacharel em Ciências e Tecnologia.

Orientadora: Marcilene Vieira da Nóbrega,
Profa. Dra.

ANGICOS

2024

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

D192e Dantas, Alex da Silva.

Estudo da variação em parâmetros de voos utilizando VANT: Um estudo de caso realizado no Campus Ufersa Angicos / Alex da Silva Dantas. - 2024.

68 f. : il.

Orientadora: Marcilene Vieira da Nóbrega.
Monografia (graduação) - Universidade Federal Rural do Semi-árido, Curso de Ciência e Tecnologia, 2024.

1. Topografia. 2. Processamento de Dados. 3. Modelos Digitais de Elevação. I. Nóbrega, Marcilene Vieira da, orient. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Biblioteca Campus Angicos
Bibliotecário: Helder Romero Maia Duarte
CRB: 15/673

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

ALEX DA SILVA DANTAS

Estudo da variação em parâmetros de voos utilizando VANT: Um estudo de caso
realizado no Campus UFERSA Angicos

Monografia apresentada à Universidade
Federal Rural do Semi-Árido como
requisito para obtenção do título de
Bacharel em Ciências e Tecnologia.

Defendida em: 23 / 10 / 2024.

BANCA EXAMINADORA

Marcilene Vieira da Nóbrega, Profa. Dra. (UFERSA)
Presidente

Luís Henrique Gonçalves Costa, Prof. Dr. (UFERSA)
Membro Examinador

Adna Érica Melo de Sousa Fontes, Mestra em eng. Civil. (UFERSA)
Membro Examinador

AGRADECIMENTOS

A conclusão deste trabalho não seria possível sem o apoio e a colaboração de várias pessoas e instituições, às quais gostaria de expressar minha sincera gratidão.

Em primeiro lugar, agradeço à Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), por proporcionar o ambiente e os recursos necessários para a realização deste estudo. Agradeço especialmente à minha orientadora, Prof^a Marcilene Vieira da Nóbrega, por sua paciência, orientação e valiosas contribuições ao longo de todo o processo, oferecendo sempre seu conhecimento, disposição e incentivo.

À minha família, por todo o apoio emocional e motivação durante minha trajetória acadêmica. Agradeço também aos meus colegas e amigos, que compartilharam momentos de desafio e conquista, sendo sempre uma fonte de incentivo e aprendizado.

Agradeço à banca examinadora pela disponibilidade e com a contribuição na avaliação deste trabalho.

Agradeço também a todos os membros do grupo do laboratório de engenharia civil, cuja colaboração foi fundamental para o desenvolvimento deste trabalho. O suporte técnico e as discussões que tivemos foram fundamentais para aprimorar a qualidade da pesquisa.

Assim como também agradeço ao professor Osvaldo Nogueira de Sousa Neto, por me auxiliar e suprir dúvidas quanto ao uso de alguns softwares utilizados ao longo do trabalho.

Por fim, gostaria de agradecer a todas as pessoas que, direta ou indiretamente, contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho, oferecendo apoio técnico, sugestões e palavras de encorajamento.

A todos, meu muito obrigado!

RESUMO

Este trabalho apresenta um estudo comparativo de voos realizados utilizando um Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) em uma área da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), campus Angicos, com o objetivo de estudar a variação nos dados de elevação em diferentes parâmetros de voo. Foram estudadas as influências de fatores como a altura de voo, velocidade, ISO e formato de imagem. O processamento dos dados foi feito através do software Autodesk Recap Photo para gerar Modelos Digitais de Elevação (MDE). Os resultados indicaram que, apesar de alguma variação significativa em determinados parâmetros, como a velocidade e ISO, os levantamentos com VANT mostraram-se eficazes para a captação de informações topográficas. Contudo, ainda é necessário realizar ajustes nas configurações do equipamento e uma análise crítica dos fatores externos são essenciais para minimizar erros e aumentar a precisão dos levantamentos.

Palavras-chave: Topografia de terrenos. Processamento de dados topográficos. Modelos Digitais de Elevação (MDE).

ABSTRACT

This work presents a comparative study of flights carried out using an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) in an area of the Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Angicos campus, with the objective of studying the variation in elevation data in different parameters of flight. The influences of factors such as flight height, speed, ISO and image format were studied. Data processing was done using Autodesk Recap Photo software to generate Digital Elevation Models (DEM). The results indicated that, despite some significant variation in certain parameters, such as speed and ISO, UAV surveys proved to be effective for capturing topographic information. However, it is still necessary to make adjustments to equipment settings and a critical analysis of external factors is essential to minimize errors and increase survey accuracy.

Keywords: Topographic survey, UAV, Flight parameter variation, Digital Elevation Models (DEMs), Autodesk Recap Photo.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Equipamentos utilizados por romanos, Groma(A) utilizado para medir ângulos Retos. Coróbato(B) utilizado para obter nível.	17
Figura 2: Funcionamento de um MED	18
Figura 3: Divisão da Topografia	21
Figura 4: Representação de pirâmide	21
Figura 5: Origens do VANT	23
Figura 6: Localização da Área de Estudo	29
Figura 7: VANT utilizado	29
Figura 8: Opções no Recap Photo	32
Figura 9: Demonstração de gráfico: Elevação x Distância	33
Figura 10: Rota adotada no estudo	34
Figura 11: Altura máxima de voo	35
Figura 12: Gráfico de elevação da reta, parâmetro altura	38
Figura 13: Voo a 50 metros	39
Figura 14: Voo a 75 metros	40
Figura 15: Voo a 100 metros	40
Figura 16: Gráfico de elevação da reta, parâmetro ISO	42
Figura 17: Voo com ISO 100	43
Figura 18: Voo com ISO 1600	44
Figura 19: Limites de imagens no software	45
Figura 20: Gráfico de elevação da reta, parâmetro velocidade	46
Figura 21: Voo a 6m/s	47
Figura 22: Voo a 10m/s	47
Figura 23: Limitação de formato	49
Figura 24: Gráfico de elevação da reta, parâmetros altura e formato de imagem	49
Figura 25: Voo JPEG	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Variação em porcentagem (Altura)	41
Tabela 2: Variação em porcentagem (ISO)	44
Tabela 3: Variação em porcentagem (ISO)	48
Tabela 4: Variação em porcentagem (JPEG e 50m)	50

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

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

JPEG - Joint Photographic Experts Group (Grupo Conjunto de Especialistas em Fotografia)

Kg - Kilograma

Km/h - Quilômetros por hora

m/s - Metros por segundo

MDE - Modelo Digital de Elevação

MDT - Modelo Digital de Terreno

MED - Medidor de distância eletrônicos

NBR - Normas Brasileiras

RPA - Remotely Piloted Aircraft (Aeronave Remotamente Pilotada)

VANT - Veículo Aéreo Não Tripulado

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	13
1.1 Objetivos.....	14
1.1.1 Objetivo Geral.....	14
1.1.2 Objetivos Específicos.....	15
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	16
2.1 Conceitos Gerais.....	19
2.2 Ciências Topográficas.....	20
2.2.1 Topometria.....	20
2.2.2 Fotogrametria.....	22
2.3 Topografia e construção civil.....	24
2.4 Pesquisas com VANTs e levantamentos topográficos.....	25
2.4.1 Análise da Atuação dos Drones na Segurança de um País.....	25
2.4.2 Comparação da eficiência de levantamentos planialtimétricos feitos com RPA em diferentes alturas de voo.....	26
2.4.3 Avaliação de Diferentes Metodologias em Levantamentos Planialtimétricos...	26
2.4.4 Análise Comparativa Entre Equipamentos Utilizados Nos Levantamentos Topográficos Planialtimétricos.....	27
3 METODOLOGIA DA PESQUISA.....	28
3.1 Local da Pesquisa.....	28
3.2 Procedimentos da pesquisa.....	29
3.4.1 Variantes Estudadas.....	30
3.2.1 Softwares utilizados.....	31
3.2.2 Parâmetros adotados no DJI Fly.....	33
3.2.3 Cálculos Realizados.....	36
3.2.4 Escolha dos pontos.....	37
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	38
4.1 Análise do parâmetro altura.....	38
4.2 Análises do parâmetro ISO.....	41
4.3 Análises do Parâmetro Velocidade.....	45
4.4 Análises do Parâmetro formato de imagem.....	48
4.5 Discussão de Erros.....	51
5 CONCLUSÃO.....	52
REFERÊNCIAS.....	54
APÊNDICE A – MAPA DA UFERSA - CAMPUS ANGICOS.....	56
APÊNDICE B – TABELA DE PONTOS ESTUDADOS DO PARÂMETRO ALTURA..	57
APÊNDICE C – TABELA DE OSCILAÇÃO DA ELEVAÇÃO DO PARÂMETRO ALTURA.....	59
APÊNDICE D – TABELA DE PONTOS ESTUDADOS DO PARÂMETRO ISO.....	61
APÊNDICE E – TABELA DE OSCILAÇÃO DA ELEVAÇÃO DO PARÂMETRO ISO.	63

APÊNDICE F – TABELA DE PONTOS ESTUDADOS DO PARÂMETRO VELOCIDADE.....	65
APÊNDICE G – TABELA DE OSCILAÇÃO DA ELEVAÇÃO DO PARÂMETRO VELOCIDADE.....	66
APÊNDICE H – TABELA DE PONTOS ESTUDADOS DO PARÂMETRO FORMATO DE IMAGEM.....	67
APÊNDICE I – TABELA DE OSCILAÇÃO DA ELEVAÇÃO DO PARÂMETRO FORMATO DE IMAGEM.....	68

1 INTRODUÇÃO

A topografia vem do grego *topos graphen*, *topos* significa lugar ou região, enquanto *graphen* significa descrição. Ou seja, topografia é a descrição de uma região. Para Borges (2013, p. 12), a topografia é a ciência que tem o objetivo de representar a configuração de uma porção do terreno, e de características que estão em sua superfície.

Segundo Borges (2013), a topografia permite a representação de detalhes presente em um terreno, assim como os limites dele, como vales, córregos, construções etc. Por meio das curvas de nível é possível representar o relevo do solo, trazendo informações de suas depressões e aclives. Também permite conhecer a diferença de nível entre dois pontos, assim como o volume de terra a ser adicionado ou retirado, para que um terreno se torne plano para ser possível construir edificações nele, ou para outros fins. Além disso, a relevância da topografia transcende até mesmo a engenharia em si, também sendo essencial para arquitetura, geografia e geociências no geral.

De acordo com a NBR 13133 (2021, p. 5), Norma Brasileira de Execução de levantamento topográfico, o levantamento é definido como:

“emprego de métodos para determinar as coordenadas topográficas de pontos, relacionando-as com os detalhes, visando à sua representação planimétrica em escala predeterminada e à sua representação altimétrica por intermédio de curvas de nível, com equidistância também predeterminada e/ou com pontos cotados.” (ABNT 13133, 2021, p. 5).

O levantamento topográfico deve ser realizado antes de qualquer obra no terreno, com o intuito de determinar as características do terreno, para no futuro, erros nas construções serem minimizados. Coelho, Rolim e Andrade (2014, p. 16), afirmam que os equipamentos para levantamento topográfico são indispensáveis. São divididos em dois: instrumentos, como nível de luneta, teodolito, estação total e trenas, e acessórios, como mira falante, níveis cantoneira, baliza, tripé, piquetes, estaca testemunha bastão com prisma, dentre outros.

Avanços tecnológicos facilitaram as atividades topográficas, isto fica evidente até mesmo entre equipamentos mais antigos como o teodolito e a estação total. Cada equipamento tem sua própria acurácia, assim como suas dificuldades em serem utilizadas. Principalmente por falta de conhecimento quanto às suas características. Tuler e Saraiva(2014), trazem uma ideia sobre a concorrência entre empresas, todas adquirem os melhores equipamentos (como o GNSS e a estação total), mas poucas buscam estudar as dificuldades em utilizá-las.

Um dos equipamentos mais atuais utilizados para topografia são os Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT). Eles são utilizados devido a serem de fácil manuseio, tanto para o levantamento, quanto para o processamento de imagens, diversos meios hoje são utilizados para o pós-processamento, algumas empresas estão se especializando somente para ofertar esses serviços, ou seja, mesmo para quem não possui conhecimentos para o pós-processamento, é possível realizar o levantamento e contratar serviços para realizar o pós-processamento.

Em suma, existe uma grande disponibilidade de equipamentos no mercado para o levantamento topográfico ser realizado, mas deve ser feita uma análise sobre qual equipamento deve ser utilizado para cada levantamento. Tendo em vista que cada equipamento possui sua acurácia, e cada um se sairá melhor em diferentes situações.

O presente estudo busca responder à seguinte pergunta de pesquisa: Como diferentes parâmetros de voo (altura, ISO, velocidade e formato de imagem) influenciam a precisão dos dados de elevação obtidos por um Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) ? A motivação para essa pergunta surgiu da necessidade de aprimorar a qualidade dos dados de elevação em levantamentos realizados com VANT.

1.1 Objetivos

Neste item serão apresentados os objetivos do presente trabalho, tanto o objetivo geral quanto os específicos.

1.1.1 Objetivo Geral

Realizar estudo de levantamento planialtimétrico realizado com VANT em uma área no Campus da UFERSA Angicos, considerando variações de parâmetros de voos.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Analisar os resultados de elevação obtidos com o VANT, variando as alturas de voos em 50m, 75m e 100m.
- Estudar o comportamento dos dados de elevação para diferentes velocidades de voos (2m/s, 6m/s e 10m/s)
- Verificar a interferência da quantidade de luz (ISO) nos resultados obtidos.
- Verificar como o formato da imagem interfere nos resultados de elevação obtidos.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

No percurso da história, a humanidade sempre evoluiu em diferentes perspectivas, como diz Harari (2020, p. 32) “[...] O período que vai de cerca de 70 mil anos atrás a cerca de 30 mil anos atrás testemunhou a invenção de barcos, lâmpadas a óleo, arcos, flechas e agulhas[...]”. Perante a topografia, esse fato evolutivo não seria diferente. Para Coelho, Rolim e Andrade (2014), os primeiros homens da pré-história eram nômades que viviam da caça e da pesca, algum tempo depois foi necessário, pela escassez de alimentos, houve uma mudança nos meios de sobrevivência. Com isso, os humanos se tornaram uma raça sedentária, o que culminou na criação e organização de cidades. Cidades que para serem organizadas foi necessário a demarcação de áreas, dividindo-se em demarcações de terras agrícolas e de moradias. E para ser possível as demarcações, instrumentos rudimentares para a topografia surgiram.

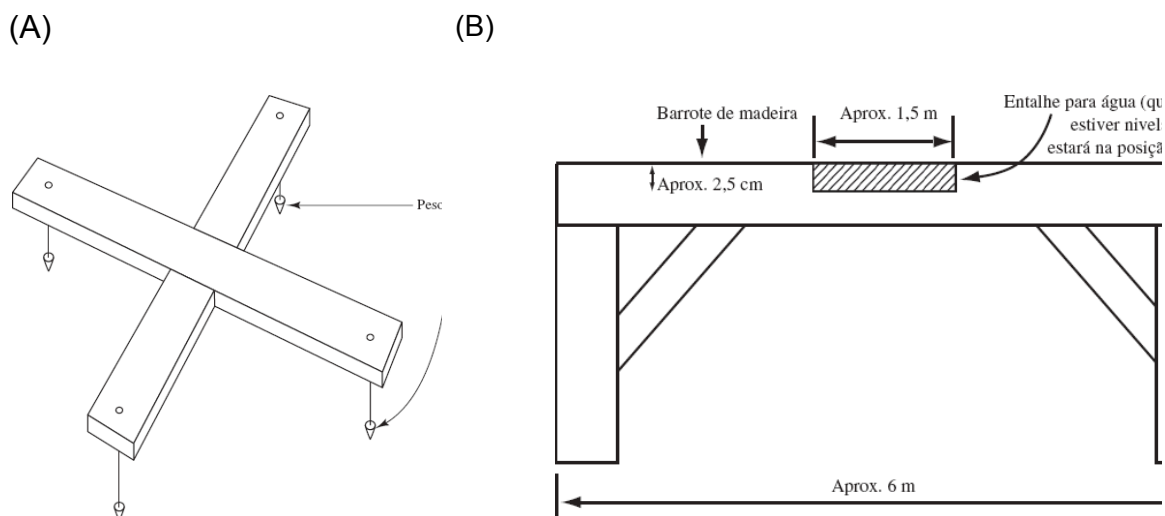
A topografia deriva de tempos remotos da humanidade, de acordo com McCormac, Sarasua e Davis (2019), Heródoto, considerado “pai da história”, diz que a topografia foi usada por egípcios por volta de 1400 a.C, quando o país foi dividido em parcelas de terra, ou seja terrenos, afim de ser possível a cobrança de impostos. E também, afirmam que ela, ou a geometria, foi necessária no Vale do Nilo para assentamento e marcos de propriedades. Quando o rio Nilo subia e arrancavam os marcos, os topógrafos, ou como eram chamados “harpedonapatas”, que significa “esticadores de corda”, eram chamados para colocarem novamente os marcos.

McCormac, Sarasua e Davis (2019) trazem mais informações sobre a história da topografia, os romanos trouxeram muitos avanços para o campo da topografia realizando diversos projetos de engenharia em seu império, projetos de cidades, acampamentos militares e de estradas.

Os equipamentos conhecidos utilizados pelos romanos foram três; O odômetro, ou “roda de medição”; a groma e o coróbato. A groma era utilizada para a medição de ângulos retos.

Consistia em duas peças de madeira fixadas entre si em ângulo reto na forma de uma cruz horizontal, com prumos descendo de cada uma das quatro extremidades. A groma, que podia ser girada por meio de uma haste vertical excêntrica, era nivelada e, então, tomadas as visadas ao longo de seus braços, alinhadas com os fios de prumo. (McCormac, Sarasua e Davis, 2019, p.4).

Figura 1: Equipamentos utilizados por romanos, Groma(A) utilizado para medir ângulos Retos. Coróbato(B) utilizado para obter nível.



Fonte: McCormac, Sarasua e Davis(2019).

Tuler e Saraiva (2014, p. 6) afirmam que durante o século XI, século em que ocorreu a expansão marítima e onde a Europa começou a desenvolver sua economia, a ideia de conhecimento sobre posicionamento se tornou necessária, assim se iniciando a hidrografia. Relatam outro fato importante para a topografia, é o primeiro tratado sobre a trigonometria (*De Triangulis Omnimodis Libris Quinque*), tratado escrito por Regiomontanus (1436-1476). O tratado permitiu a construção de instrumentos e aplicação de métodos para obtenção de relevos de terrenos com uma certa rapidez.

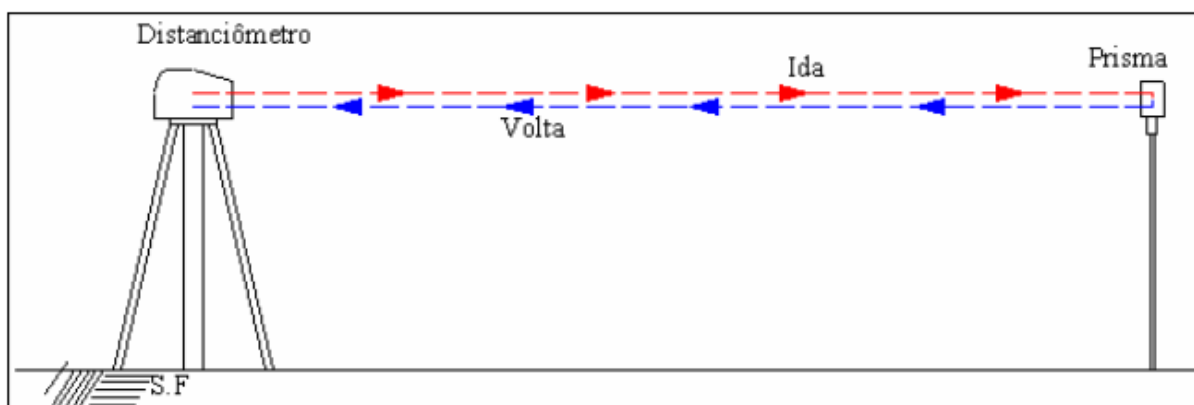
O século XVI foi marcado pela real possibilidade de conquista dos mares. Surgiram as primeiras grandes viagens comerciais, culminando no descobrimento da América. O posicionamento correto tornava-se sinônimo de sobrevivência e dependia da posição relativa dos astros em relação à rota, traçada por meio de instrumentos como o Astrolábio. Os avanços na Astronomia, ciência que utiliza os astros para posicionamento e orientação na terra, são incontestáveis (Tuler e Saraiva, 2014, p. 6).

Como afirmam McCormac, Sarasua e Davis (2019), muitos avanços ocorreram entre os séculos XVIII e XIX, devido a diversos países em busca de melhores mapas e informações mais precisas sobre suas divisas. Nos Estados

Unidos foram realizados diversos trabalhos de levantamento topográfico de grandes áreas de terra mantidas sob proteção governamental. Os levantamentos contribuíram significativamente para a evolução da triangulação e do levantamento com características tridimensionais sobre superfícies terrestres.

Alguns desses avanços tecnológicos ocorreram principalmente entre o século XX e XXI, de acordo com Veiga, Zanetti e Faggion (2007), a medição de distâncias sempre foi um problema, devido ao tempo necessário para ser feita e devido a dificuldade de se obter uma boa precisão. Segundo Tuler e Saraiva (2014), a primeira grande inovação na área foi em 1943 com o surgimento do primeiro MED (Medidor de distância eletrônicos).

Figura 2: Funcionamento de um MED



Fonte: Veiga, Zanetti e Faggion (2007, online)¹.

O medidor melhorou a precisão dos levantamentos, passando a precisão de medidas de centímetros para milímetros. Outros dois avanços ocorreram, o segundo foi o aparecimento de teodolitos eletrônicos por volta dos anos 70. E a terceira, o aparecimento de cadernetas eletrônicas, antes de seu surgimento os topógrafos necessitavam levar cadernetas para anotar os dados coletados em campo.

Nos últimos anos, alguns novos avanços determinaram, definitivamente, a existência de uma nova geração de equipamentos de medições topográficas e geodésicas, como estação total, nível digital e nível laser, escâner laser, trenas laser, ecobatímetros, sistemas de medição por satélite, por exemplo, dos receptores do sistema NAVSTAR-GPS, juntamente com armazenamento de dados em coletores digitais. (Tuler e Saraiva, 2014, p. 8).

¹ Disponível em: <http://www.gpeas.ufc.br/disc/topo/apost04.pdf>. Acesso em: 16/02/2024.

De acordo com MundoGEO (2018), RPA, também conhecidos como VANT (Veículo aéreo não tripulado), são pequenas aeronaves controladas remotamente por controles remotos. Os VANTs aplicados a aerofotogrametria possuem câmeras embutidas em seu corpo, com a finalidade de obter imagens aéreas que, incluindo também outras variáveis, são capazes de gerar dados topográficos com mais rapidez e detalhes comparados aos levantamentos realizados de forma convencional. Em poucos minutos, os VANTs realizaram trabalhos que demoravam dias com equipamentos convencionais.

2.1 Conceitos Gerais

A topografia se divide em duas, a topologia e a topometria. Para Tuler e Saraiva (2014, p. 18), topologia (do grego *topos*, que significa lugar, e *logos* que é tratado) cuida das formas de relevo do terreno. Com a função de representar e estudar o relevo do terreno, buscando dados a partir das curvas de nível ou de modelos em perspectiva do terreno. Enquanto a topometria estuda as grandes lineares e angulares do terreno. A topometria ainda se divide em três: Altimetria, Planimetria e Planialtimétrico que é a junção das duas.

Para Coelho, Rolime Andrade (2014, p. 11), o principal objetivo da topografia é a representação planialtimétrica de uma área, em escala adequada. Ou seja, deve ser feita a coleta de dados em campo para ser possível essa representação. O trabalho a ser realizado em campo é o levantamento topográfico.

Primeiramente é importante separar os dois meios de estudo da superfície terrestre. De acordo com Coelho, Rolim e Andrade (2014), a topografia em si é uma ciência que estuda, projeta, mensura, representa e executa uma parte limitada do terreno, ou seja somente uma porção do terreno da superfície da terra pode ser representado pela topografia, essa porção também é considerada plana ou seja, não se leva em consideração a esfericidade da própria terra. Assim, a curvatura é desprezada, sendo considerado o perímetro, dimensão, localização geográfica e objetos de interesse que estejam nessa porção de terra a ser considerada.

Ainda de acordo com Coelho, Rolim e Andrade (2014), a geodésia é uma ciência que estuda a terra como um todo ou uma porção maior de terra. Ela é subdividida em três ramos, sendo eles: Geodésia física, geodésia geométrica e

geodésia por satélites. A topografia é um dos ramos gerados da geodésia geométrica, entretanto as duas ciências estudam os mesmos métodos, utilizando até os mesmos equipamentos para determinar porções da superfície terrestre. A diferença está na topografia se limitar a uma pequena porção da terra, e não levar em consideração a esfericidade terrestre, e que a geodésia delimita uma área maior ou até mesmo toda a terra.

Vale ainda ressaltar que a porção limitada para a topografia varia de autor para autor, porém se chega em consenso que a porção seja limitada a 20 km de raio. Entretanto, a NBR 13133 (Execução de Levantamento topográfico), admite uma porção da superfície terrestre de até 80 km do seu ponto de origem.

2.2 Ciências Topográficas

De acordo com Veiga, Zanetti e Faggion(2007), o objetivo principal da topografia é efetuar o levantamento, executar as medições de ângulos, distâncias e desníveis do terreno, ou seja, as cotas do terreno. Isso permite a representação de uma porção da superfície terrestre. Essas operações feitas em campo têm o objetivo de coletar os dados para a posteriormente representação, são denominadas de levantamento topográfico.

Como citado anteriormente, a topografia se divide em dois ramos principais sendo eles: Topologia e Topometria. Entretanto é possível dividi-la ainda mais, segundo Daibert (2014) ela pode ser dividida em quatro partes: Topologia, Topometria, Taqueometria ou Estadimetria e, Fotogrametria. Sendo a topologia a parte que estuda as distâncias e os ângulos; A topometria a parte que se ocupa com o relevo, ou seja com as nuances do terreno em si, sua forma; Enquanto a taqueometria ou Estadimetria é a parte de medições rápidas e diretas; Já a fotogrametria a parte que se ocupa com levantamentos fotográficos, ou seja, é feita uma série de fotografias para determinar a topografia do terreno.

2.2.1 Topometria

Segundo Coelho, Rolim e Andrade (2014), a Topometria se subdivide em três ramos, sendo eles a Planimetria, altimetria e a Planialtimetria.

Figura 3: Divisão da Topografia



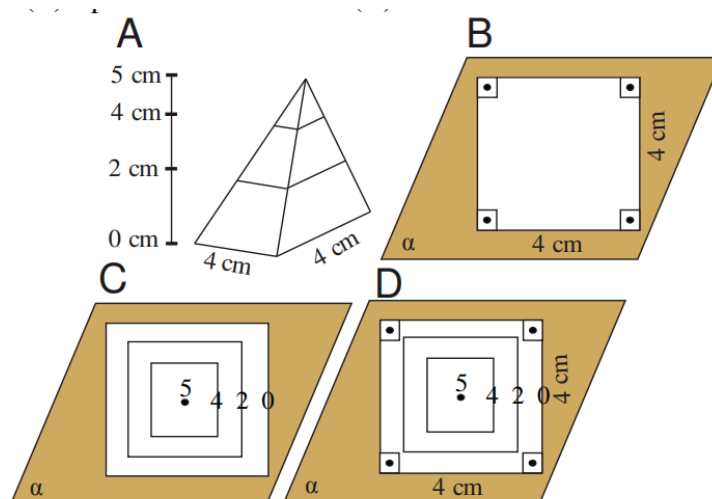
Fonte: Coelho, Rolim e Andrade (2014).

A planimetria leva em consideração somente as dimensões e coordenadas (x e y) planimétricas, nesse caso a idéia de relevo do terreno não são levadas em consideração, estudando-se apenas suas distâncias e ângulos horizontais.

A Altimetria é a parte da topografia que estuda o relevo do terreno, ou seja a altimetria leva em consideração o que a planimetria não considera, sendo o estudo das coordenadas (z) e ângulos verticais.

A planialtimetria é a união da altimetria e da planimetria, ou seja estuda as coordenadas (x,y,z) e ângulos tanto horizontais quanto verticais. A figura 4 demonstra bem como uma pirâmide seria representada em cada um dos casos:

Figura 4: Representação de pirâmide



Fonte: Coelho, Rolim e Andrade(2014)

Sendo a figura (A) a representação no espaço da pirâmide, a figura (B) a representação planimétrica da pirâmide; A figura (C) a representação altimétrica da pirâmide e por fim a figura (D) que representa a pirâmide planimetricamente.

Coelho, Rolim e Andrade (2024) definem a cota como sendo a distância vertical compreendida entre um ponto qualquer da superfície terrestre e um plano de referência qualquer. Esse plano referencial qualquer, sendo escolhido com uma cota inicial arbitrariamente atribuída pelo topógrafo.

McCormac, Sarasua e Davis (2019) comentam que a coleta de cotas do terreno é conhecida como nivelamento. Nivelamento é um método de determinação das cotas referentes a diferentes pontos presentes no terreno. Tendo um ponto com cotas conhecidas, os outros podem ser obtidos por meio do nivelamento.

No passado, muitas referências de nível eram utilizadas nos Estados Unidos, até mesmo para os levantamentos de maior importância. Um valor estimado foi dado para o topo de uma colina, para a superfície de um dos Grandes Lagos, para a marca do nível mais baixo de um rio ou qualquer outro ponto. Essas diferentes referências verticais criaram confusão, e a atualmente disponível “referência do nível do mar” é um grande avanço. (McCormac, Sarasua e Davis, 2019, p. 93).

A definição de Altitude, ou referência do nível do mar, é dada por Coelho, Rolim e Andrade (2024) como sendo a distância vertical compreendida entre um ponto qualquer da superfície e no nível médio dos mares, sendo considerado uniforme para todo um país. Também é chamado de cota absoluta, tendo como uma única referência, supondo que dois pontos medidos em locais distintos apresentem os mesmos valores de altitude, eles terão as mesmas alturas, já que utilizaram o mesmo nível de referência (O nível médio dos mares).

2.2.2 Fotogrametria

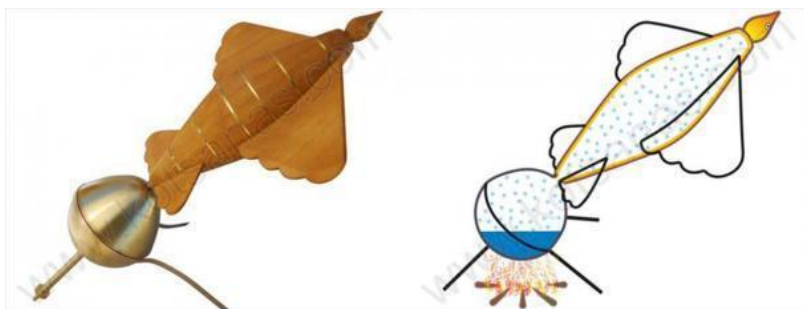
McCormac, Sarasua e Davis (2019) definem levantamentos fotogramétricos sendo aqueles que são utilizadas fotografias aéreas, em conjunto com levantamento de apoio no terreno que sejam visíveis nas fotos. Ela é muito importante para a topografia, devido a sua rapidez, economia, realização de levantamentos em áreas de difícil acesso, e uma extensa quantidade de dados obtidos. E que está sendo

muito utilizada para grandes acres de levantamentos da superfície, como 20 a 40 acres de terra.

Para se realizar levantamentos fotogramétricos, é necessário a utilização de equipamentos capazes de realizar voos e tirar fotos aéreas, Coelho, Rolim e Andrade (2024) abordam o assunto, devido aos altos custos de realização de voos, seja de aviões ou helicópteros tripulados, os seres humanos inventaram um instrumento capaz de realizar voos de forma rápida, eficiente e baixo custo de aquisição e de operação, sendo esses os chamados VANTs (Veículo Aéreo Não Tripulados).

Segundo Prudkin e Breuning (2019), os VANTs que vemos circulando diariamente sobre o espaço aéreo, são tecnologia de ponta compostos por um complexo conjunto de peças de engenharia, mecânica, eletrônica, radiofrequência e materiais aerodinâmicos. Entretanto existem projetos e experiências antigas de voo com veículos aéreo não tripulados, como é o caso da invenção do filósofo e matemático grego Arquitas de Tarento (Archeytas de Tarento - 428 a.C. -347 a.C.). Acredita-se que Tarento tenha sido o primeiro a criar um dispositivo de voo autopropulsado, o dispositivo foi batizado como “ o pombo voador a vapor de Archytas”. Era construída de madeira e apresentava uma aparência semelhante a um pássaro, sua cavidade era oca, na parte inferior havia um cilindro de bronze,)dentro havia uma pequena caldeira que gerava vapor assim, exercendo pressão até sumir a propulsão e voar poucos metros de distância (ver Figura 5).

Figura 5: Origens do VANT



Fonte: Ancient Origins, 2021.

Entretanto, os RPA só receberam mais atenção por volta do século XX, segundo COSTA (2019) em 1916 um programa de testes de mísseis chamado

Sperry Aerial Torpedo realizou a façanha de ser o primeiro a lançar uma aeronave não tripulada controlada remotamente. A história dos Rpa caminha lado a lado com as histórias de guerras que ocorreram durante essa época, o “Lightning Bugs” atuou na guerra do Vietnã para reconhecimento de largo alcance, e posteriormente o exército Israelense utilizou da tecnologia para táticas de guerra, como visto na guerra do Yom Kippur. Em 1977 Abe Karem, engenheiro espacial israelita, criou o RPA americano Albatross. Albatross passou 56 horas no ar durante os testes, posteriormente a DARPA (Agência de Projetos Avançados de Pesquisa de Defesa) financiou Abe Karem para que o projeto fosse ampliado, então o Albatross se tornou o Amber que evoluiu para o RPA Predator.

Segundo COSTA (2019) os RPA foram criados para finalidade militar como forma de conseguir informações, treinamentos, a entrega de mensagens, servir de suporte a ataques, espionagem e também para reconhecimento de terreno. Houve várias alterações dos modelos ao longo do tempo, assim como diversos avanços tecnológicos, o seu “boom” foi durante o governo Barack Obama, sendo intensamente valorizados e popularizados. Atualmente são fabricados modelos para entretenimento, esses são utilizados pelos civis como forma de diversão.

2.3 Topografia e construção civil

Veiga, Zanetti e Faggion (2007), em diversos trabalhos a topografia se faz presente, no planejamento e projeto, conseguindo informações do terreno; durante a execução e acompanhamento da obra, realizando locações e fazendo medições. Até mesmo para realizar o monitoramento após a execução da obra.

A topografia está presente nos mais diversos serviços de engenharia. Segundo Tuler e Saraiva(2014), a topografia está presente em áreas como: Construção civil; Urbanismo; Saúde, saneamento e meio ambiente; Vias de comunicação; Geologia, geotecnia e mineração; Ciências florestais e agrárias; Defesa nacional e a área industrial.

Silva (2018) aborda como a topografia pode impactar o meio social. Como a topografia é responsável por caracterizar as imperfeições do terreno onde serão construídas redes de água e esgoto, rodovias, barragens, sistemas de drenagem

dentre outros, Assim, um levantamento topográfico mal executado pode gerar futuras complicações para a população em torno das áreas construídas.

Ademais, Silva (2018) disserta como a topografia é utilizada de diversas formas na engenharia civil, como: na locação de obras, método onde o objetivo é materializar os pontos que definirão as divisões do lote, ela é um dos procedimentos mais importantes na construção, tendo em vista que um erro causado na materialização desses pontos resultaria em diversos erros na execução da obra; Terraplanagem, ela tem como objetivo a construção de plataformas horizontais ou inclinadas com a premissa de tornar o terreno plano. Para que seja possível, se faz um levantamento planialtimétrico no terreno a fim de determinar suas curvas de níveis; Divisão de terras, para ser executado o loteamento, divisão de terras, seja para herdeiros ou da propriedade por venda, é necessário realizar um levantamento topográfico.

2.4 Pesquisas com VANTs e levantamentos topográficos

Neste tópico serão apresentados alguns trabalhos realizados por outros autores na mesma área.

2.4.1 Análise da Atuação dos Drones na Segurança de um País

O trabalho realizado por Costa (2019) tratou de uma análise da crescente utilização de drones em operações de segurança interna. A autora do trabalho traz informações da forma que os drones evoluíram e se tornaram uma ferramenta relevante para diversas funções das sociedades como; vigilância, controle de fronteiras e combate a crimes, além de aplicações em operações militares.

O estudo discute também a falta de regulamentação global sólida para o uso desses dispositivos, embora, socialmente, já haja uma concretização da importância dos drones. O trabalho também levanta questões sobre os desafios e os benefícios do uso de drones, especialmente em termos de segurança pública e militar.

A pesquisa foi realizada através de diversas fontes bibliográficas e digitais para fundamentar as discussões, está dividida em capítulos que exploram desde a evolução histórica dos drones até sua aplicação na sociedade, principalmente em operações policiais e militares, incluindo os riscos envolvidos em sua utilização.

2.4.2 Comparação da eficiência de levantamentos planialtimétricos feitos com RPA em diferentes alturas de voo

O trabalho de Tavares (2021) avaliou a eficiência de levantamentos topográficos realizados com RPAs (Aeronaves Remotamente Pilotadas) em diferentes alturas de voo. O estudo foi realizado em Mossoró-RN em duas áreas, utilizando um Phantom 4 Advanced da DJI. As alturas analisadas foram 50, 75 e 100 metros de altura, o objetivo era determinar qual seria a melhor altura para gerar resultados melhores em termos de detalhamento topográfico.

O processamento dos dados foi feito com o software Agisoft Metashape e o QGIS. Os resultados que indicaram melhores resultados foram os de altura a 50 metros de altura, apresentando resultados mais detalhados, sendo mais indicados para terrenos de menor porte. Já a altura de 75 metros mostrou-se a menos eficiente, com maior distorção nos dados.

2.4.3 Avaliação de Diferentes Metodologias em Levantamentos Planialtimétricos

Larissa (2019), analisou três métodos distintos de levantamento topográfico, sendo eles: Estação total, GPS de navegação e GPS de aplicativo. O estudo foi realizado em uma área localizada entre a RN-223 e a entrada da UFERSA (Universidade Federal Rural do Semi-Árido), no campus Caraúbas.

O objetivo principal do trabalho era comparar a precisão dos diferentes métodos, utilizando a Estação Total como referência para medir as discrepâncias dos outros dois métodos. Os dados coletados em campo foram processados nos softwares GPS TrackMaker e AutoCAD.

Os resultados obtidos mostraram que o GPS de aplicativo apresentou uma precisão maior que o de navegação, entretanto ambos mostraram discrepâncias significativas quando comparadas à Estação Total. O estudo concluiu que, para atividades que demandam alta precisão, como projetos de engenharia civil, o uso da Estação Total é melhor.

2.4.4 Análise Comparativa Entre Equipamentos Utilizados Nos Levantamentos Topográficos Planialtimétricos

O trabalho foi realizado por Rodrigues Segundo (2022), a área estudada fica localizada na Universidade Federal do Semiárido (UFERSA) Campus Leste, Mossoró/RN. O objetivo foi analisar as curvas de nível obtidas com equipamentos diferentes, sendo eles: GPS Garmin, Aplicativo de GPS, Aplicativo de GPS Data, Drone e Teodolito. Além disso, medir suas discrepâncias entre si.

As conclusões tiradas do trabalho foram de que o teodolito e o drone foram os únicos que alcançaram um resultado satisfatório se comparados aos outros equipamentos utilizados. Rodrigues destacou que, por mais que a tecnologia tenha avançado na execução de levantamentos topográficos, alguns dos equipamentos precisam ser utilizados com cautela, como é o caso dos GPSs que apresentaram grandes imprecisões. Ele também ressaltou que o drone possibilitou a criação de um MDT mais próximos dos dados obtidos com o teodolito em um curto espaço de tempo.

3 METODOLOGIA DA PESQUISA

Este capítulo trata dos métodos para a realização do trabalho. O trabalho envolve a realização de voos com VANT, variando parâmetros como altura, ISO, velocidade e resolução de imagens, para estudar o impacto dessas variáveis nos dados de elevação obtidos. Os dados foram processados e comparados para avaliar a precisão e a qualidade das informações geradas.

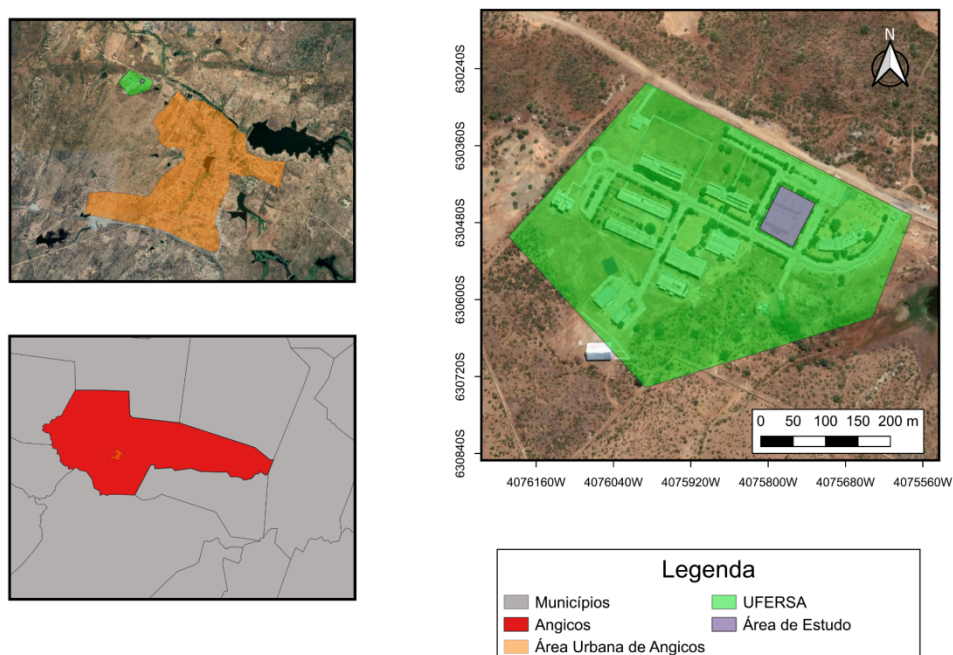
O processo de levantamento ocorreu em duas etapas. A primeira foi a de coleta de pontos no campo, e a segunda etapa foi o processamento de dados em laboratório.

A presente pesquisa é do tipo experimental e quantitativa, caracterizando-se como uma pesquisa aplicada e de campo. Ela envolve a realização de experimentos controlados com o objetivo de avaliar os impactos de diferentes variáveis nos dados de elevação obtidos por meio do VANT.

3.1 Local da Pesquisa

A área selecionada para a coleta de dados está localizada na UFERSA (Universidade Federal Rural do Semi-Árido), campus Angicos (Figura 6). Optou-se por essa localização em função da logística de deslocamento, facilitar a alimentação da bateria do equipamento utilizado, por ser um terreno plano e sem presença de vegetação e por ser uma área pequena, de aproximadamente 5.517 metros quadrados. O apêndice A apresenta o mapa da UFERSA, campus Angicos, em evidência.

Figura 6: Localização da Área de Estudo



Fonte: Adaptado do IBGE (2024)

3.2 Procedimentos da pesquisa

A coleta de imagens foi realizada com o VANT modelo DJI série Mavic 3 Classic (Figura 7), pesando 1,6 Kg com o tempo de voo máximo de 46 minutos e uma velocidade máxima de 75,6 km/h. O equipamento é equipado com uma câmera de 20 megapixels

Figura 7: VANT utilizado



Fonte: Autoria Própria (2024)

Neste item será descrito todos os procedimentos que foram realizados para a coleta de dados para a realização do estudo, desde os softwares utilizados para a realização dos voos, seus procedimentos e processamentos dos dados coletados. Assim como as variantes escolhidas a serem estudadas e os softwares utilizados para processamento e estudo dos arquivos obtidos após o processamento dos dados

3.4.1 Variantes Estudadas

I. Variação da Altura

- A.** Objetivo: Avaliar como as diferentes alturas de voo impactam na precisão das medições de elevação.
- B.** Método: Realizar voos em três alturas diferentes (50m; 75m e 100m);
- C.** Analisar: Comparar medições com uma referência conhecida;
- D.** Resultado Esperado: A precisão deve diminuir conforme ocorre o aumento de altura, devido à menor resolução espacial.

II. Variação de ISO

- A.** Objetivo: Avaliar o impacto gerado a sensibilidade à luz (ISO) na qualidade das imagens e a precisão dos dados gerados
- B.** Método: Realizar voos com diferentes configurações de ISO (100; 800; 1600 e 3200);
- C.** Analisar: Avaliar a nitidez e ruído das imagens e comparar os dados de elevação obtidos com a de referência.
- D.** Resultado esperado: Com valores de ISO mais altos geram mais ruído nas imagens, esperasse que valores mais altos de ISO reduzissem a precisão das medições.

III. Variação de Velocidade de Voo

- A.** Objetivo: Analisar o impacto da velocidade de voo na qualidade das imagens e precisão dos dados coletados;

- B. Método:** Realizar voos a diferentes velocidades (2m/s; 6m/s e 10m/s);
- C. Analisar:** Avaliar a nitidez e desfoque das imagens, verificar a cobertura e sobreposição de imagens e comparar com a medição de referência.
- D. Resultado esperado:** Em velocidades mais altas, é esperado que a nitidez das imagens diminua devido ao desfoque de movimento, e que a sobreposição de imagens fique inadequada, resultando em menor precisão e qualidade dos dados coletados. A velocidade ideal deve balancear a eficiência de operação com a necessidade de manter a qualidade e precisão dos dados.

IV. Variação de Formato de Imagem

- A. Objetivo:** Analisar se diferentes formatos de imagens impactam na obtenção de dados.
- B. Método:** Realizar dois voos na velocidade e altura padrão, alterando o formato de imagem (RAW e JPEG).
- C. Analisar:** Avaliar a nitidez e detalhamento das imagens, comparar a capacidade de pós-processamento de cada formato, analisar a precisão dos dados gerados
- D. Resultados Esperados:** O formato Raw possui uma maior qualidade, devido à quantidade de informações armazenadas. Por outro lado, o formato JPEG são mais comprimidos e com menos dados, podem resultar em uma perda de detalhes e uma menor precisão nos produtos finais. No entanto, o formato RAW pode ser menos eficiente em termos de armazenamento e processamento. A escolha do formato ideal deve considerar o equilíbrio entre a qualidade dos dados e a eficiência operacional.

3.2.1 Softwares utilizados

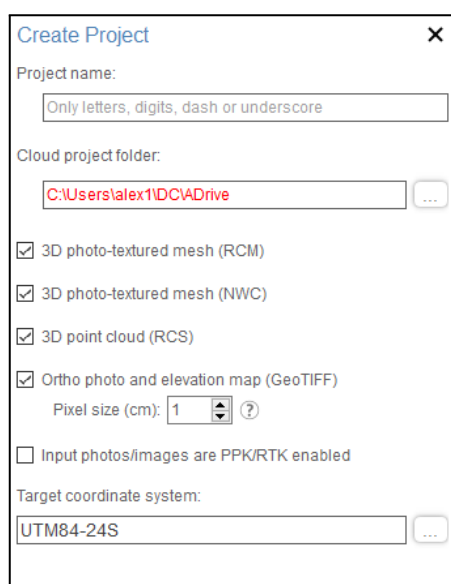
Para a coleta de dados foi utilizado exclusivamente o aplicativo disponibilizado pela própria Dji nos sistemas android e IOS, o DJI Fly. Para se realizar o levantamento topográfico com o Vant montou-se uma rota de voo, a rota foi montada manualmente e foi utilizada a mesma rota para todos os voos realizados

no estudo, para que o único parâmetro variante nos voos fosse o de estudo no momento. Todos os voos foram realizados em um mesmo dia, por volta das 14h às 16h, com sol e sem a presença de ventos fortes.

O primeiro parâmetro para o estudo são as imagens aéreas captadas pelo VANT. As imagens em formato bruto contêm informações de georreferenciamento e de elevação. Assim, se faz necessário processá-las para a obtenção dos dados para estudo. O programa utilizado para o processamento de todas as imagens captadas pelo drone foi o Autodesk Recap Photo v.25.0. Este foi escolhido por ser possível usá-lo de forma livre, e por processar as imagens nas nuvens, ou seja, ele elimina a necessidade de possuir um hardware com configurações avançadas para que seja feito o processamento de imagens.

As configurações utilizadas foram as apresentadas na Figura 8, todo o processamento se deu com as mesmas configurações, para que não houvesse outras interferências além das que seriam estudadas.

Figura 8: Opções no Recap Photo

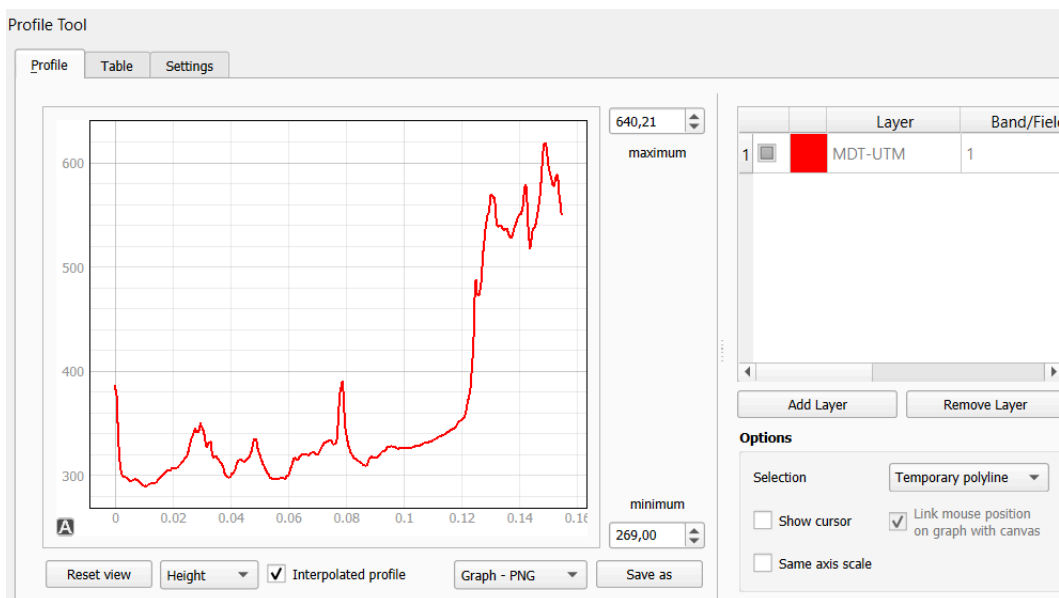


Fonte: Autoria própria (2024)

O arquivo retirado do processamento de imagens é o MDE (modelo digital de Elevação), para a coleta de dados de altitude do MDE, utilizou-se o software livre Qgis 3.34.7 e um complemento denominado profile tool 4.2.6. O complemento permite gerar uma reta de estudo no terreno, a reta proporciona a criação de um gráfico Elevação x Distância (Como mostra a figura 9), com dados de elevação a

partir de um ou mais MDEs, sendo possível escolher pontos ao longo da reta e buscar informações de elevação.

Figura 9: Demonstração de gráfico: Elevação x Distância



Fonte: Autoria própria (2024)

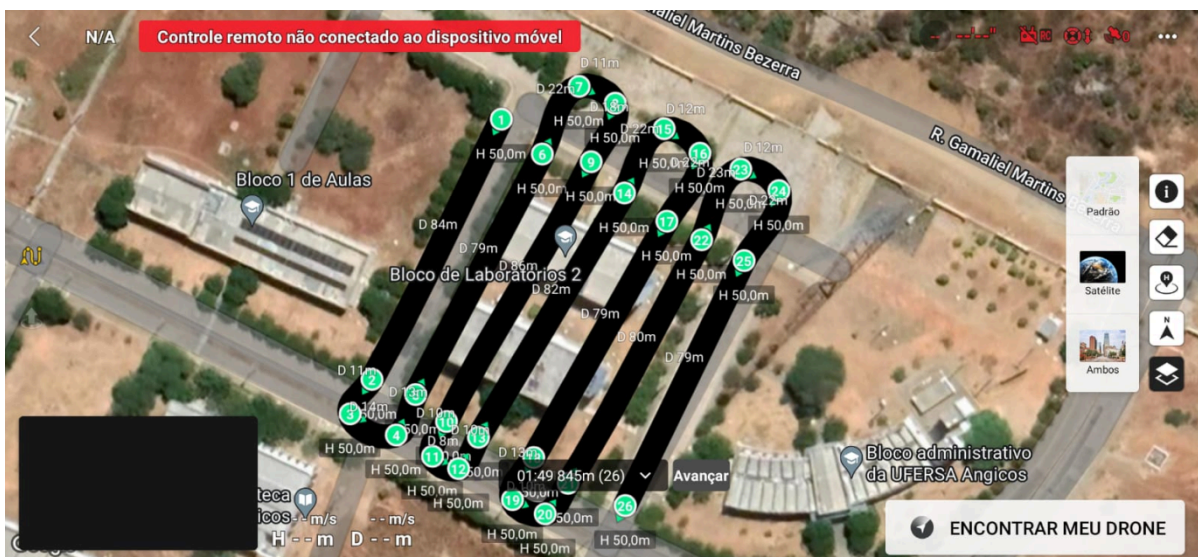
Também foi utilizado o software Excel, para a criação de tabelas e calcular as diferenças na elevação dada por cada variante em comparação com os dados de altitude do Google Earth. O Google Earth possibilita obter valores de altitude aproximados, só é possível ter precisão de um único algarismo.

Para a determinação da velocidade de voo foram realizados testes preliminares para ser selecionada aquela que obtivesse resultados mais satisfatórios para as condições de realização da pesquisa. Como a área é pequena, grandes velocidades impediram a sobreposição correta das imagens. Logo, testou-se velocidades, e ao final dos testes preliminares, optou-se por 7m/s, estando esse valor dentro do intervalo que o fabricante do equipamento orienta, que é de no máximo 15 m/s para voos realizados no modo normal, modo padrão do VANT.

3.2.2 Parâmetros adotados no DJI Fly

Neste item serão abordadas as configurações de voos feitas no aplicativo DJI Fly para cada variante. Primeiramente, a figura 10 mostra a rota adotada para todos os voos realizados no estudo.

Figura 10: Rota adotada no estudo



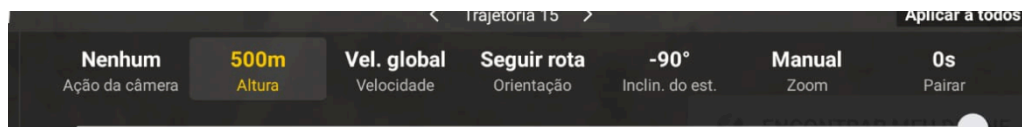
Fonte: Autoria própria (2024)

- Altura

A altura de voo provavelmente é um dos parâmetros mais importantes a serem estudados, visto que diferentes alturas devem impactar na qualidade de imagens e na precisão dos MDEs gerados. No contexto deste estudo, a variação da altura foi realizada para entender como diferentes altitudes de voo podem afetar a acurácia dos dados de elevação obtidos.

Para investigar o impacto da variação da altura, foram realizados três voos em diferentes altitudes: 50; 75 e 100 metros. Cada voo seguiu a mesma rota e foram realizados em sequência para garantir a consistência dos dados obtidos. Para a configuração da altura, o aplicativo DJI Fly permite, como mostra a figura 11, voos de até 500 metros de altura, no entanto a ANAC (Agência Nacional de Aviação Civil) proíbe voos acima de 400 pés (120m) para pilotos sem habilitação. Logo, a altura máxima adotada para o estudo foi de 100 metros.

Figura 11: Altura máxima de voo



Fonte: Autoria própria (2024)

A escolha de variar a altura com a incrementação de 25 metros a cada voo foi feita para garantir uma boa diversidade de altitudes, ao mesmo tempo que minimiza a quantidade de voos necessários. Optar por pequenas variações, como a de 10 metros, teria um impacto na quantidade de voos necessários para o estudo.

- ISO

A ISO é um dos principais parâmetros para a fotografia, controlando a sensibilidade do sensor à luz. Em levantamentos fotogramétricos, a variação de ISO pode afetar a qualidade das imagens captadas. Esse estudo tem como objetivo avaliar como diferentes configurações de ISO influenciam na nitidez das imagens e na precisão de dados de elevação.

Foram realizados voos com o ISO ajustado para 100, 800, 1600 e 3200. Em todos os voos os outros parâmetros como altura e velocidade de voo foram mantidos constantes. A escolha dessa taxa de variação se deu com o objetivo de cobrir uma ampla faixa de sensibilidade, permitindo a análise de imagens capturadas em diferentes condições de luz.

- Formato das imagens

A resolução das imagens e o formato em que foram capturadas (RAW e JPEG) são fatores que podem influenciar significativamente a qualidade das imagens obtidas nos levantamentos fotogramétricos. O formato RAW oferece uma maior qualidade de imagem, com mais detalhes, o formato JPEG é mais leve, porém tem menos qualidade de imagem. Este estudo investiga o impacto que diferentes formatos podem causar nos dados obtidos.

Foram realizados somente dois voos, um capturando imagens em formato RAW e outro em formato JPEG, mantendo todos os outros parâmetros constantes. O formato RAW foi escolhido para estudar a capacidade de capturar o máximo de

detalhes possíveis, enquanto o formato JPEG foi escolhido para estudar a sua eficiência e facilidade de seu processamento.

- Velocidade

A velocidade de voo é um parâmetro crítico que pode afetar a qualidade das imagens capturadas e na precisão dos modelos digitais gerados. O estudo examina como diferentes velocidades de voo influenciam os resultados dos levantamentos fotogramétricos.

Três voos foram realizados a velocidades de 2 m/s, 6m/s e 10m/s. Todos os outros parâmetros foram mantidos constantes. As velocidades escolhidas refletem com um equilíbrio entre a precisão desejada e a eficiência na coleta de dados.

3.2.3 Cálculos Realizados

Posterior aos voos, com os dados obtidos foram realizados dois cálculos. Um sobre a diferença entre os dados obtidos em cada voo em relação aos dados do Google Earth, e o cálculo de diferença de percentual.

Equação 1: *Diferença* = *Dado do Google Earth* – *dado obtido (m)*

Equação 2: *Porcentagem de diferença* = $\frac{\text{Diferença}}{\text{Dado do Google Earth}} \times 100$

Os Dados do Google Earth foram extraídos ao longo da mesma reta de estudo utilizada no Qgis para determinar os pontos estudados. Vale ressaltar que o Google Earth não possui dados de elevação exatos, eles utilizam de uma aproximação. Os dois dados utilizados para cálculo foram: no início da reta até seu ponto central, possui uma altitude de 107 metros, enquanto do meio para o fim da reta uma altitude de 106 metros. Optou-se por utilizar uma altitude de 107 metros para todo o trecho da reta de estudo.

3.2.4 Escolha dos pontos

Na reta de estudo são gerados vários pontos, como são pontos em excesso, optou-se por realizar uma escolha de pontos. A seleção se deu da seguinte forma: o primeiro ponto escolhido está localizado no início da reta, é o primeiro ponto gerado na reta, seguido por uma sequência com intervalo de 10 em 10 pontos. Assim, o segundo ponto escolhido foi o “p11”, posteriormente o “p21” e assim sucessivamente, até o “p311”. O último ponto selecionado foi o “p316”, que é o último ponto gerado na reta.

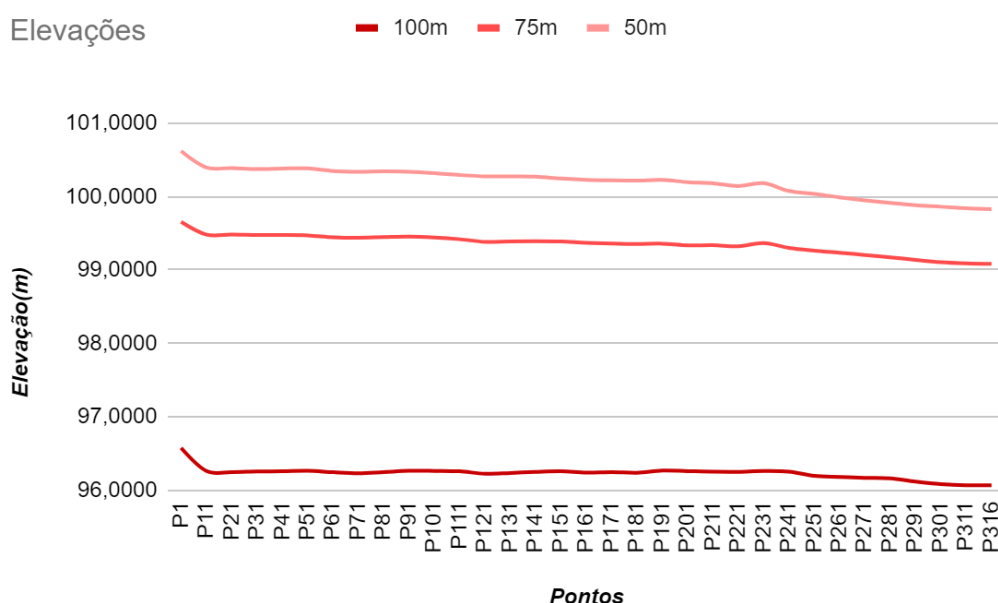
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste item serão descritos todos os resultados obtidos a partir do estudo e discussões sobre os resultados obtidos. A ideia inicial do trabalho era de estudar o impacto causado por diferentes alturas em voos realizados com o VANT. Após os voos e da análise que será descrita no item 4.1, foi observada variação nos dados obtidos. Logo, a ideia inicial foi ajustada para incluir os outros parâmetros citados anteriormente (ISO, formato de imagem e velocidade de voo).

4.1 Análise do parâmetro altura

Nesta seção, são apresentados os resultados obtidos a partir de voos realizados nas alturas: 50m, 75m e 100m. O objetivo foi avaliar como a variação de altura de voo influencia na qualidade e na precisão dos dados de elevação gerados. Os gráficos de elevação gerados, como mostra o figura 12, a partir dos dados obtidos refletem as diferenças observadas entre as altitudes estudadas, permitindo uma comparação direta dos efeitos de altura na precisão dos MDEs (Modelos digitais de Elevação).

Figura 12: Gráfico de elevação da reta, parâmetro altura

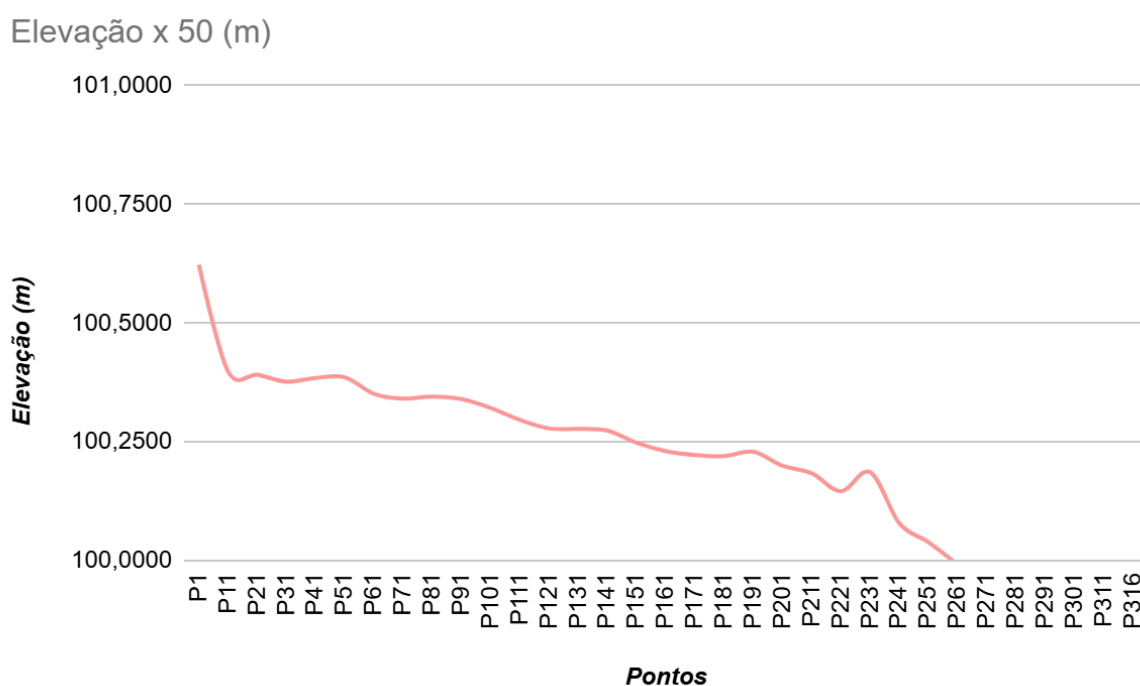


Fonte: Autoria própria (2024)

Nota-se, no apêndice B, que a altitude varia de acordo com a altura de voo do drone. Quanto mais alto, mais significativo foi o erro gerado, mesmo a 50 metros de altura ainda ocorreu um erro de altitude se comparado com a referência de 107 metros fornecidas pelo Google Earth.

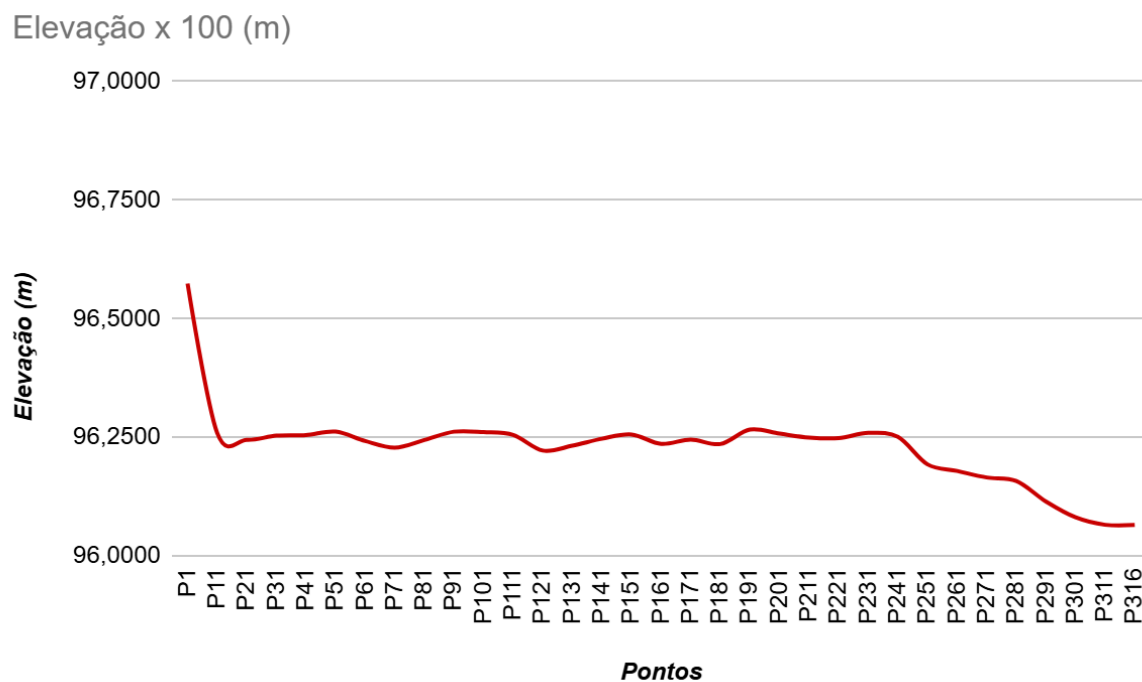
Para a melhor visualização desse erro ao sobrevoar a área estudada, foram gerados três gráficos a partir dos dados obtidos, como mostram as figuras 13, 14 e 15.

Figura 13: Voo a 50 metros



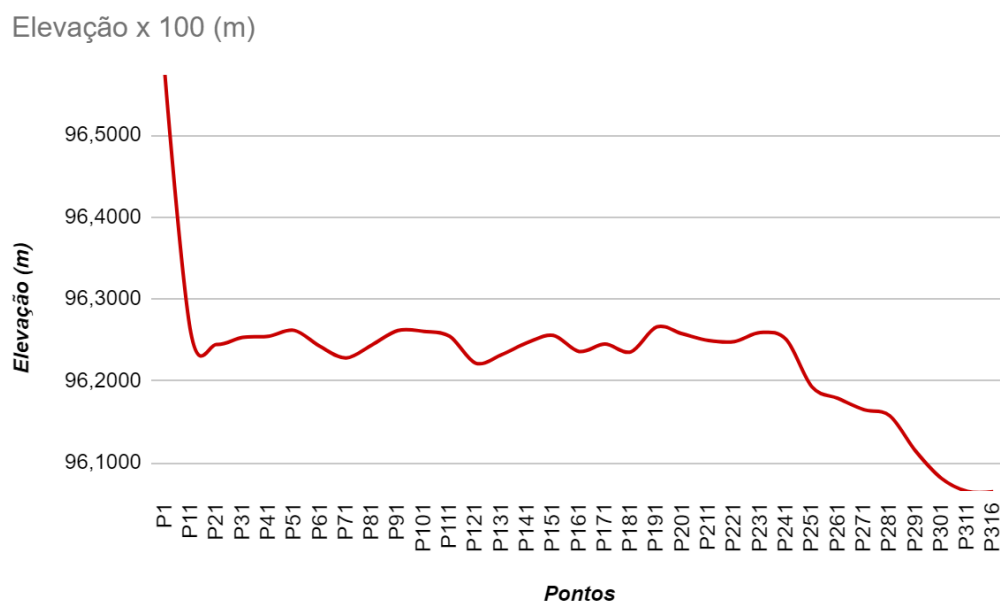
Fonte: Autoria própria (2024)

Figura 14: Voo a 75 metros



Fonte: Autoria própria (2024)

Figura 15: Voo a 100 metros



Fonte: Autoria própria (2024)

Pode-se observar que o terreno parece mais acidentado no gráfico gerado a partir dos dados de elevação obtidos no voo de 100 metros de altura (figura 15). Embora a curva siga a mesma tendência que as curvas geradas através dos dados de voo de 50 e 75 metros, ela apresenta mais oscilações, o que indica uma maior variação de elevação.

A Apêndice C apresenta a oscilação de elevação gerada ao variar a altura. Nota-se que a variação mesmo a 50 metros foi elevada. A variação foi significativa, indicando uma inconsistência entre os dados obtidos e os valores esperados, que deveriam variar próximos a 107 metros de altitude. Essas discrepâncias podem ser resultadas de outros fatores, como as condições de capturas de imagens, que nos voos relacionadas a altura estavam automáticas, a falta de coordenadas de apoio em campo ou imprecisões nos sensores do Vant.

Tabela 1: Variação em porcentagem (Altura)

Variação (%)	50m	75m	100m
Início da Reta	6,17	7,03	10,04
Fim da Reta	6,76	7,47	10,32

Fonte: Autoria própria (2024)

A tabela 1 mostra que em um ponto no início da reta, mesmo a 50 metros de altura, houve um erro de 6,17%, enquanto no final da reta um erro de 6.76%. Observa-se que quanto maior a altura maior o erro, a 100 metros de altura, esses erros são mais significativos, chegando a 10% de variação no ponto do início da reta e em um ponto no final da reta.

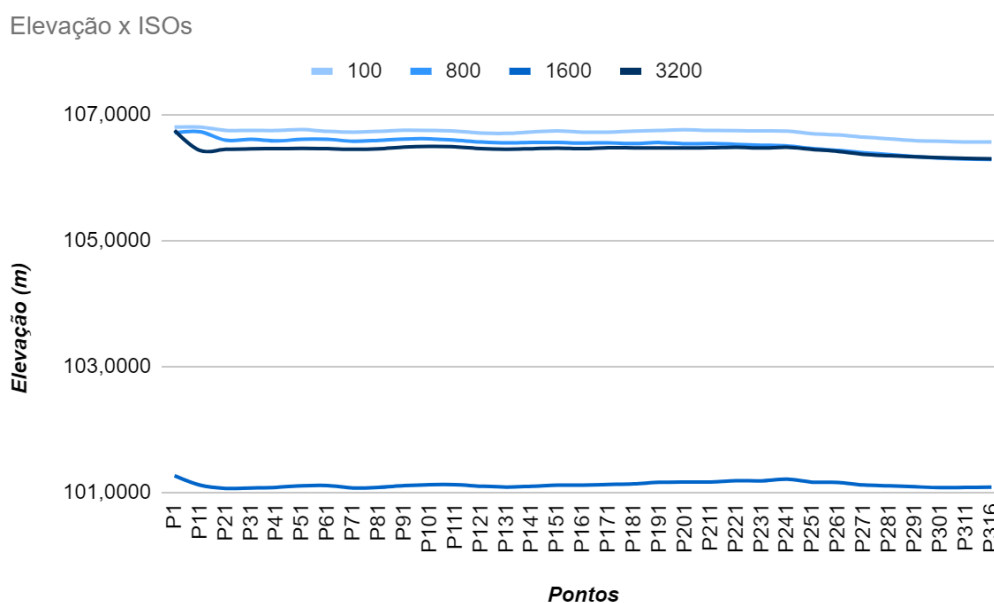
Embora o erro a 75 metros de altura seja maior que o observado a 50 metros, possivelmente é mais viável, em questão de amplitude espacial, realizar voos a 75 metros de altura.

4.2 Análises do parâmetro ISO

Nesta seção serão apresentados os resultados obtidos a partir de voos realizados com diferentes parâmetros de ISO, sendo; 100, 800, 1600 e 3200 ISOs. O objetivo é avaliar como a variação de ISO pode influenciar na qualidade e

precisão de dados de elevação. A figura 16 mostra o gráfico de elevação gerado a partir dos dados obtidos, percebe-se que os resultados se comparados ao parâmetro altura são mais satisfatórios.

Figura 16: Gráfico de elevação da reta, parâmetro ISO

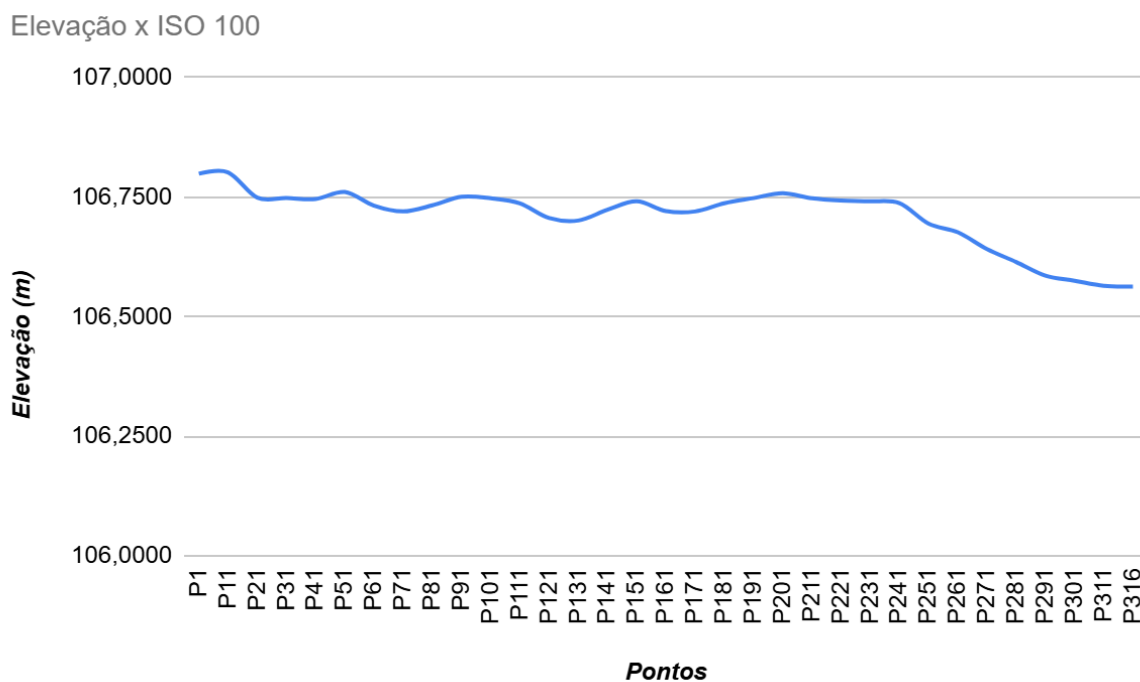


Fonte: Autoria própria (2024)

Observando o gráfico já é possível notar uma melhora na precisão dos dados, tendo em vista que a maioria dos levantamentos realizados alterando o parâmetro ISO chegaram próximos aos valores de elevação esperados, com exceção do levantamento realizado ajustando o ISO para 1600 que se observou um erro. Como os dados obtidos com o valor de ISO posterior, 3200, pode-se deduzir que o erro foi gerado por outro fator externo, e não pela variação do ISO. O apêndice D mostra os dados de elevação obtidos na reta de estudo para as variações de ISOs.

Gráficos foram gerados para cada ISO, entretanto como a variação entre os ISOs 100, 800 e 3200 são baixas, só serão apresentados dois gráficos, o que mais se aproximou dos valores reais (ISO 100) e o que mais variou (1600 ISO).

Figura 17: Voo com ISO 100

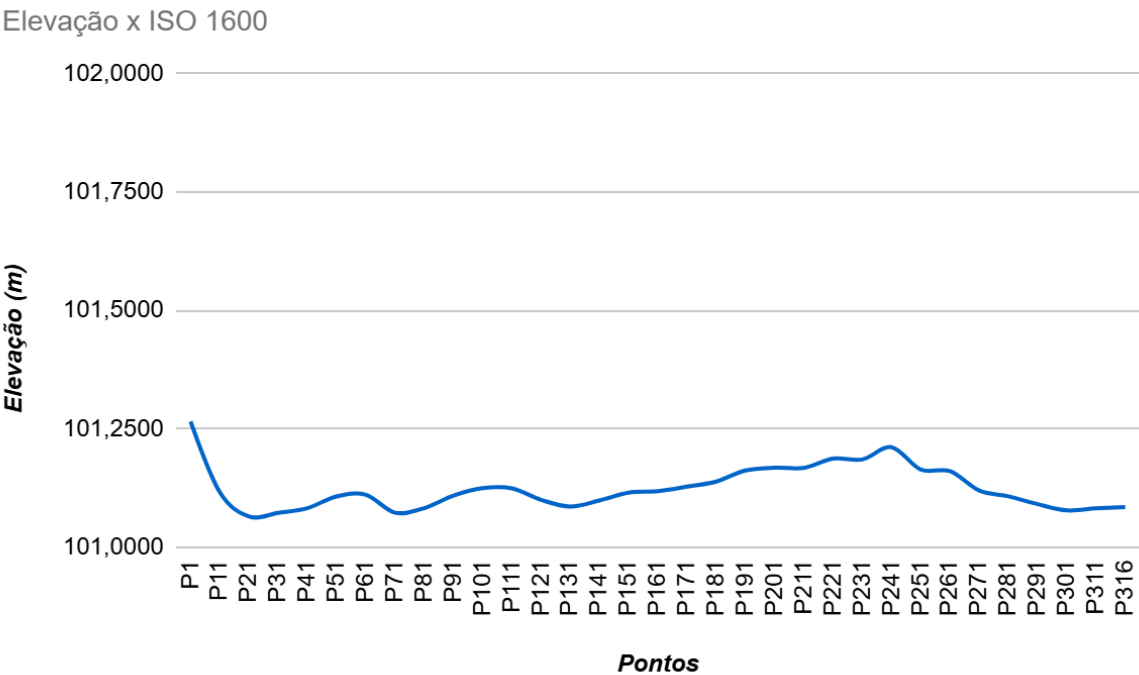


Fonte: Autoria própria (2024)

Percebe-se no figura 17 que o terreno possui uma elevação de aproximadamente 107 metros de altitude, o que era o esperado tomando como base o valor de altitude retirado do Google Earth. O gráfico também revela um terreno com uma variância de altura menos abrupta.

Além de um erro maior, o gráfico (mostrado na figura 18) gerado através dos dados do voo realizado com ISO 1600, revela uma variância maior no terreno entre um ponto e outro, o primeiro ponto coletado (P1) e o próximo (P11) mostram uma variação de quase 15 cm.

Figura 18: Voo com ISO 1600



Fonte: Autoria própria (2024)

O apêndice E apresenta a oscilação entre os dados obtidos em cada ISO e os dados de referência.

Nota-se que a variação que menos impactou nos dados foi a do ISO 100, com os resultados mais próximos dos valores reais de elevação. Enquanto os dados de ISO 800 e 3200 obtiveram resultados semelhantes entre si. No entanto, o ISO 1600 mostrou uma discrepância considerável, isso indica que, nessa configuração de voo, fatores externos ou outros ajustes no equipamento podem ter gerado erros maiores, afetando a precisão dos dados obtidos.

Tabela 2: Variação em porcentagem (ISO)

Variação (%)	ISO 100	ISO 800	ISO 1600	ISO 3200
Ínicio da Reta	0,19	0,25	5,50	0,53
Final da Reta	0,41	0,67	5,53	0,66

Fonte: Autoria própria (2024)

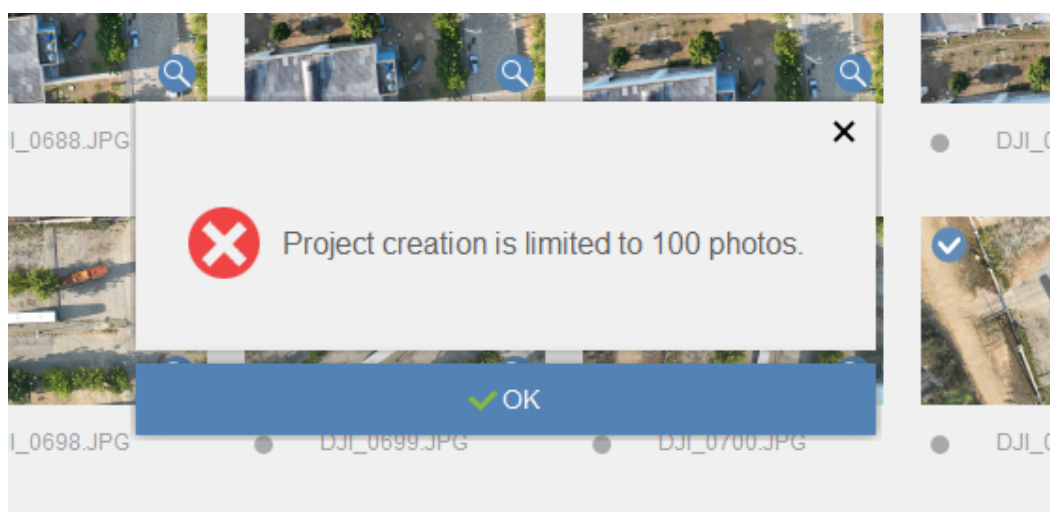
A tabela 2 apresenta os dados em porcentagem dessa variação a partir do segundo ponto da reta, ela evidencia o erro causado no ISO 1600.

4.3 Análises do Parâmetro Velocidade

Nesta seção serão abordados os dados obtidos a partir da variação de velocidade. As variações consistiram em: 2, 6 e 10m/s. O objetivo é avaliar como a variação de velocidade pode impactar na qualidade e precisão dos dados de elevação obtidos.

A primeira variação (2m/s) apresentou um resultado diferente das demais, pois, nessa condição, não foi possível gerar o arquivo MDE utilizando o software Autodesk Recap Photo. Como ilustrado na figura 19, o software impõe um limite máximo de imagens permitidas para o desenvolvimento de um arquivo MDE, e esse limite foi excedido durante no voo a 2m/s.

Figura 19: Limites de imagens no software

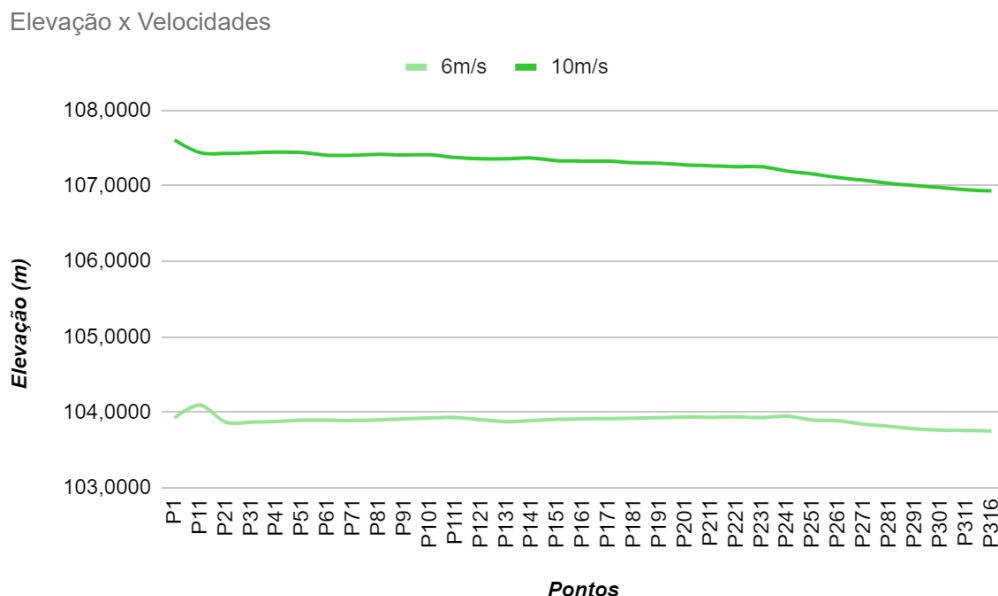


Fonte: Autoria própria (2024)

O Apêndice F mostra os pontos escolhidos na reta para o estudo, para a variação de velocidade assim como os dados de elevação de ponto.

A figura 20 ilustra a diferença entre os dados obtidos ao voar o VANT nas duas velocidades distintas. Observa-se que os valores obtidos nas duas condições apresentaram variações consideráveis.

Figura 20: Gráfico de elevação da reta, parâmetro velocidade

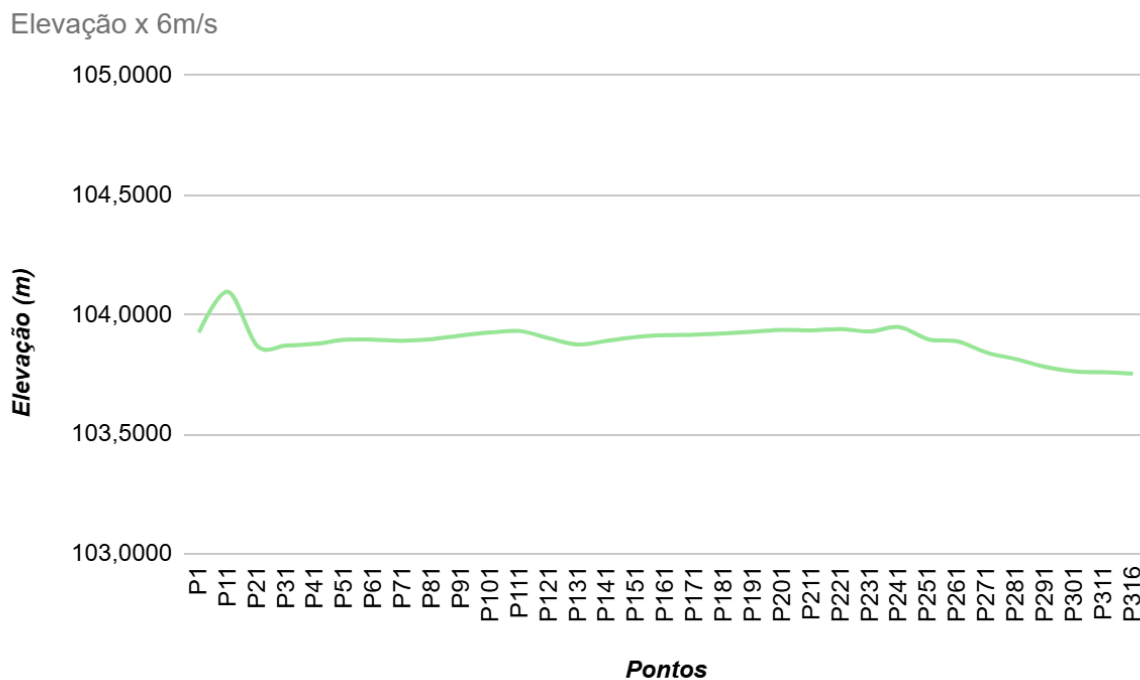


Fonte: Autoria própria (2024)

Nota-se que ao sobrevoar o terreno a uma velocidade de 10m/s os valores obtidos se comparam ao esperado. Enquanto ao sobrevoar a 6m/s ocorreu um erro considerável. Para melhor visualização, os dois gráficos são mostrados separadamente nas figuras 21 e 22.

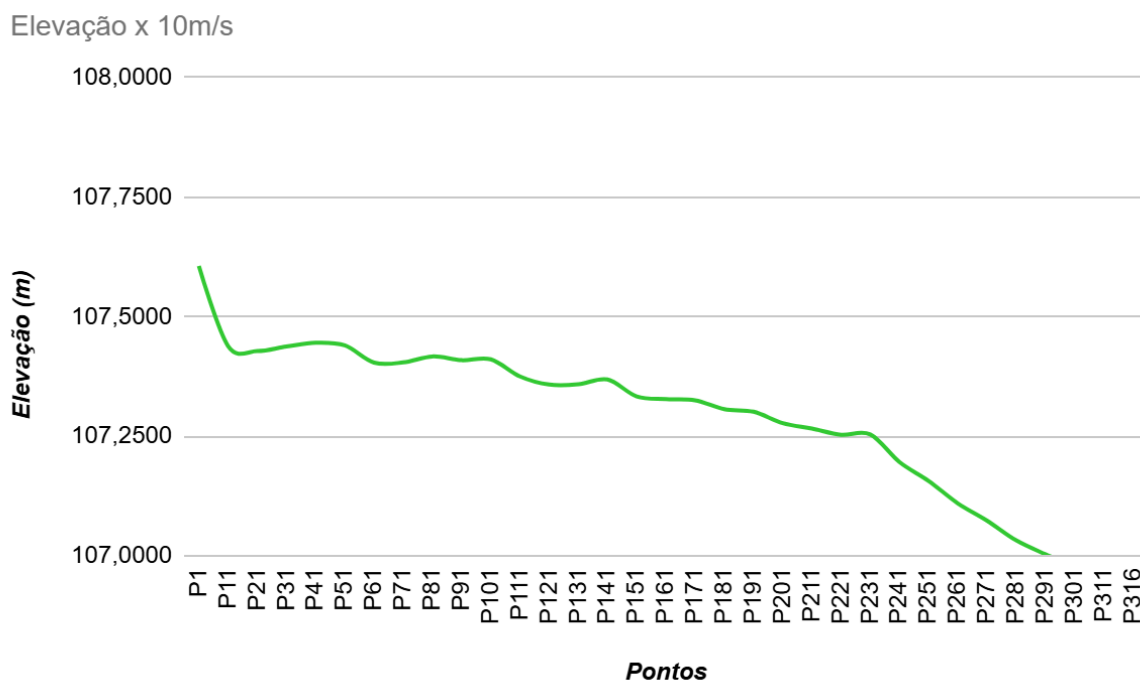
O apêndice G mostra os valores de oscilação de elevação do parâmetro de velocidade em comparação com os dados do Google Earth.

Figura 21: Voo a 6m/s



Fonte: Autoria própria (2024)

Figura 22: Voo a 10m/s



Fonte: Autoria própria (2024)

Comparando os dois conjuntos de dados obtidos, os dados ao sobrevoar a 6m/s estão longe da realidade. O terreno em estudo é quase plano, com uma pequena variação de altitude entre o início e o final da reta de estudo. No entanto, o gráfico gerado com os dados do MDE de 6m/s mostra um terreno acidentado em comparação aos dados do MDE de 10m/s. Isso é peculiar, tendo em vista que o esperado era que, ao aumentar a velocidade, piores os dados ficariam.

Tabela 3: Variação em porcentagem (ISO)

<i>Variação (%)</i>	6m/s	10m/s
Início da Reta	2,93	0,40
Final da Reta	3,03	0,06

Fonte: Autoria própria (2024)

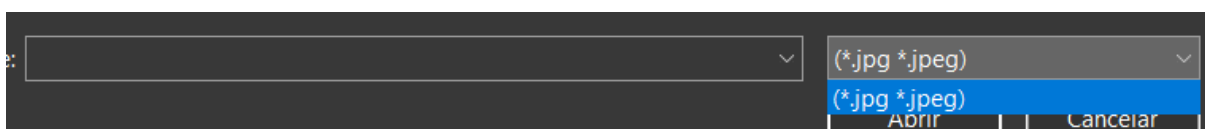
O erro causado no voo de 10m/s é quase mínimo se comparado aos outros dados obtidos. O erro no último ponto da reta se aproximou de zero, indicando uma maior aproximação da realidade. Isso se evidencia na tabela 3. O valor obtido no final da reta varia somente 0,06% dos valores reais. Isso sugere que, em determinadas situações, velocidades de voo mais altas podem resultar em dados mais precisos.

4.4 Análises do Parâmetro formato de imagem

Neste capítulo serão abordados os dados obtidos para a variação formato de imagem.

Outra limitação encontrada além da quantidade máxima de imagens no software utilizado no estudo, foi a limitação de não ser possível utilizar imagens em outros formatos além do JPEG (Como ilustra a figura 23) para o processamento de dados. Então, não foi possível realizar o processamento dos dados de imagens RAW.

Figura 23: Limitação de formato

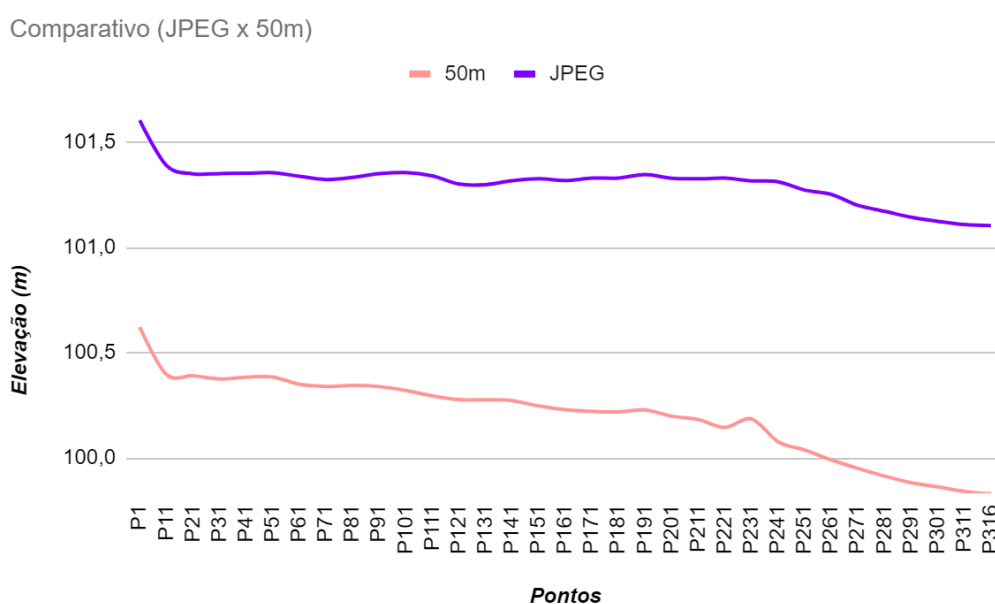


Fonte: Autoria própria (2024)

Só foi possível obter os dados de elevação a partir das imagens capturadas em formato JPEG. Os dados estudados são os mesmos que o levantamento padrão, tendo em vista que os dois teriam as mesmas configurações, optou-se por realizar um único voo e utilizar os dados obtidos para os dois casos. O apêndice H traz informações de elevação dos pontos analisados na reta de estudo.

O voo realizado para esse parâmetro segue o mesmo padrão de configuração que o voo realizado a 50 metros de altura, conforme descrito no item 4.1. Portanto, é possível realizar um comparativo entre os dois dados. Gerando um gráfico (figura 24) é possível notar as pequenas diferenças entre o levantamento realizado no parâmetro altura e o JPEG. Por mais que possuam um erro de 1 metro aproximadamente entre as curvas, é possível notar que as duas seguem o mesmo padrão, apresentando um terreno quase plano.

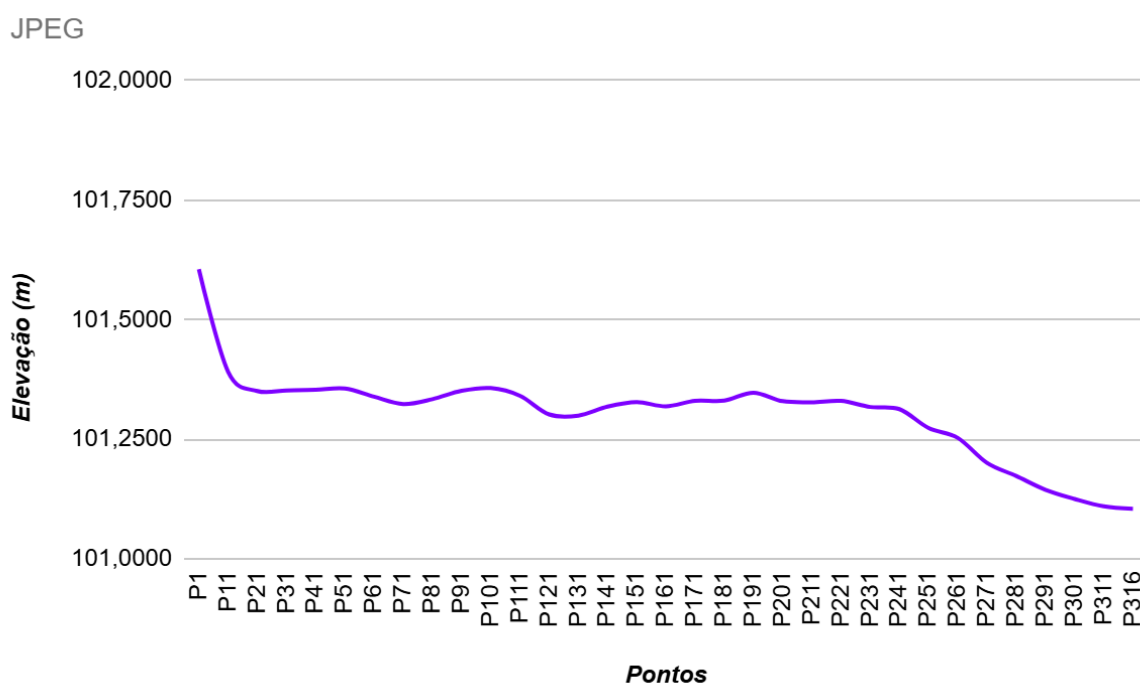
Figura 24: Gráfico de elevação da reta, parâmetros altura e formato de imagem



Fonte: Autoria própria (2024)

O gráfico do MDE gerado a partir dos dados do levantamento padrão/JPEG (figura 25) mostra um terreno que se aproxima da realidade. No entanto, apesar da semelhança visual, os dados apresentam um erro significativo se comparado aos dados de elevação do Google Earth.

Figura 25: Voo JPEG



Fonte: Autoria própria (2024)

O apêndice I mostra a oscilação dos pontos escolhidos na reta de estudo. O levantamento padrão/JPEG mostra que há fatores externos impactando nos dados obtidos ou ajustes no equipamento podem ter gerado os erros apresentados, assim afetando a precisão dos dados obtidos.

Tabela 4: Variação em porcentagem (JPEG e 50m)

Variação (%)	50m	JPEG
Início da Reta	6,17	5,24
Final da Reta	6,70	5,51

Fonte: Autoria própria (2024)

A tabela 4 mostra a oscilação dos dados em comparação com os dados de 107 metros de elevação do Google Earth. Observa-se que o erro do parâmetro JPEG, foi menor que o de 50 metros de altura. Apesar de que os dois voos foram configurados da mesma forma.

4.5 Discussão de Erros

Ao longo dos levantamentos realizados com o VANT, foram identificados erros que influenciaram na precisão dos dados de elevação. Esses erros podem ter origem de vários fatores, como as condições ambientais, limitação do equipamento, a rota de voo, limitação do software. Por exemplo, a variação do vento durante os voos ou a presença de sombras nas imagens podem ter gerado distorções nos dados. Além disso, a falta de pontos de controle terrestre com coordenadas conhecidas pode ter contribuído para as medições de altitudes.

5 CONCLUSÃO

O presente estudo analisou o impacto de diferentes parâmetros de voo com o Vant, altura, ISO, velocidade e formato de imagem, na precisão dos dados de elevação obtidos. A partir dos resultados, foi possível observar que a variação desses parâmetros afeta a precisão dos levantamentos.

Ao analisar os dados obtidos com o VANT, foi possível notar que, em diversas situações estudadas, os valores de elevação não coincidiram com os dados esperados, por mais que o equipamento tenha sido configurado de forma padronizada em todos os voos. Fatores externos à pesquisa, como a limitação do software de processamento, interferências na calibração do drone ou mesmo a rota determinada para o estudo, podem ter contribuído para que os erros observados no estudo.

Há uma discrepância entre os dados obtidos pelo VANT e a referência de estudo, Google Earth, isso é perceptível nas tabelas geradas. Embora o parâmetro altura apresente o terreno condizente com a realidade, ele também apresenta os erros mais significativos, se comparados aos dados do Google Earth

Alguns dos parâmetros como o parâmetro ISO e velocidade tiveram erros menos significativos se comparados a quaisquer outros parâmetros. Entretanto, foram os que apresentaram resultados contrários aos esperados, com configurações que teoricamente deveriam apresentar erros mais significativos apresentando erros menores, como o caso do ISO 1600 e a velocidade de 10m/s.

O parâmetro JPEG se destaca de forma curiosa. Ao compará-lo com o voo realizado a 50 metros do parâmetro altura, os dois possuíam as mesmas configurações, velocidades, altura, rota e formato de imagem iguais. Entretanto, o erro foi maior no cenário estudando somente o impacto da altura. Isso levanta a hipótese de que outros fatores influenciaram nos dados obtidos, seja erro do software, ou imprecisões do próprio VANT.

No geral, o estudo demonstra que, apesar das limitações e dos erros observados em cada voo, o uso de drones para levantamentos topográficos ainda oferecem um bom potencial para a captação de dados de elevação de forma eficiente, rápida e precisa. Os VANTs mostram sua utilidade em diversos contextos, permitindo acesso a áreas de difícil acesso e da realização de levantamentos topográficos realizados em menores tempos. Entretanto, é de fundamental

importância considerar as variáveis envolvidas no estudo; altura, ISO, velocidade de voo e formato de imagem. Não somente, como também as condições ambientais durante o voo, como a iluminação e a presença de ventos fortes. Além disso, é necessário ajustes no equipamento, e no software utilizado para o processamento dos dados para maximizar a qualidade dos dados obtidos.

Para trabalhos futuros, uma sugestão seria o uso de pontos de controle em solo com coordenadas conhecidas, que podem proporcionar maior precisão e corrigir discrepâncias observadas entre os dados obtidos e os valores de referência. E também o desenvolvimento de modelos que integrem dados obtidos por diferentes métodos de levantamento, como o uso de drones em combinação com topografia tradicional, também pode oferecer uma visão mais completa e precisa do terreno estudado. Por fim, pesquisas que avaliem o desempenho de diferentes softwares de processamento de imagens e geração de Modelos Digitais de Elevação (MDE) podem auxiliar na escolha das ferramentas mais adequadas para diferentes tipos de levantamento.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR **13133**: *Execução de medições em topografia*. Rio de Janeiro, 2021

BORGES, Alberto de Campos. **Topografia: aplicada à engenharia civil**. 3. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2013. 212 p. Disponível em: <https://app.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788521207610/pageid/0>. Acesso em: 08 mar. 2024.

BOTELHO, Manoel Henrique Campos; FRANCISCHI JUNIOR, Jarbas Prado de; PAULA, Lyrio Silva de. **ABC da topografia: para tecnólogos, arquitetos e engenheiros**. São Paulo: Blucher, 2018. E-book. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br>. Acesso em: 28 mar. 2024.

COELHO JÚNIOR, José Machado; ROLIM NETO, Fernando Cartaxo; C.O.ANDRADE, Júlio da Silva. **Topografia Geral**. Recife: Edufrpe, 2014. 150 p. Disponível em: <https://repository.ufrpe.br/handle/123456789/2418>. Acesso em: 15 mar. 2024.

COELHO JÚNIOR, José Machado; ROLIM NETO, Fernando Cartaxo; C.O.ANDRADE, Júlio da Silva. **Topografia Geral**. 3. ed. Recife: Edufrpe, 2024. 180 p. Disponível em: <http://editora.ufrpe.br/sites/www.editora.ufrpe.br/files/topografia%20geral%203a%20ed%20ebook.pdf>. Acesso em: 2 abr. 2024.

COSTA, Rafaela Duarte. **Análise da atuação dos drones na segurança de um país**. 2023. Tese (Mestrado em Direito e Segurança) — Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2019.

DAIBERT, João Dalton. **Topografia: técnicas e práticas de campo**. 2. ed. São Paulo: Érica, 2016. 121 p. Disponível em: <https://app.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788536518817/>. Acesso em: 2 abr. 2024.

DIAS, Larissa Martins. **AVALIAÇÃO DE DIFERENTES METODOLOGIAS EM LEVANTAMENTOS PLANIALTIMÉTRICOS**, 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciências e Tecnologia) — Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Caraúbas, 2019.

HARARI, Yuval Noah. **Sapiens: uma breve história da humanidade**. São Paulo: Companhia das Letras, 2020. 471 p.

La Paloma de Arquitas Impulsada Por Vapor: **La Máquina Voladora de La Antigüedad**. Ancient Origins. Disponível em: <https://www.ancient-origins.es/artefactos-tecnologia-antigua/paloma-vapor-007391>. Acesso em: 16 out. 2024.

MCCORMAC, Jack; SARASUA, Wayne; DAVIS, William. **Topografia**. 6. ed. Rio de Janeiro: Ltc — Livros Técnicos e Científicos Editora, 2019. 410 p. Tradução de: Daniel Carneiro da Silva. Disponível em: <https://app.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788521630807>. Acesso em: 08 mar. 2024.

COMPARAÇÃO entre topografia com drones x topografia tradicional. MundoGeo, 26 jun. 2018. Disponível em: <https://mundogeo.com/2018/06/26/artigo-comparacao-entre-topografia-com-drones-x-topografia-tradicional/#:~:text=Os%20drones%20s%C3%A3o%20pequenas%20aeronaves,controlada%20remotamente%20por%20controles%20remotos>. Acesso em: 25 out. 2024.

PRUDKIN, Gonzalo; BREUNIG, Fábio Marcelo. **Drones e Ciência: teoria e aplicações metodológicas - volume 1**. Santa Maria: Facos-Ufsm, 2019. 126 p. Disponível em: <http://repositorio.ufsm.br/handle/1/18774>. Acesso em: 18 mai. 2024.

SILVA, Hévellin Cristina . Nucci, Jorge Miguel **APLICAÇÃO DA TOPOGRAFIA NA ENGENHARIA CIVIL**. Revista Científica Semana Acadêmica. Fortaleza, ano MMXVIII, Nº. 000138, 29/10/2018. Disponível em: <https://semanaacademica.org.br/artigo/aplicacao-da-topografia-na-engenharia-civil> Acessado em: 08 mar. 2024.

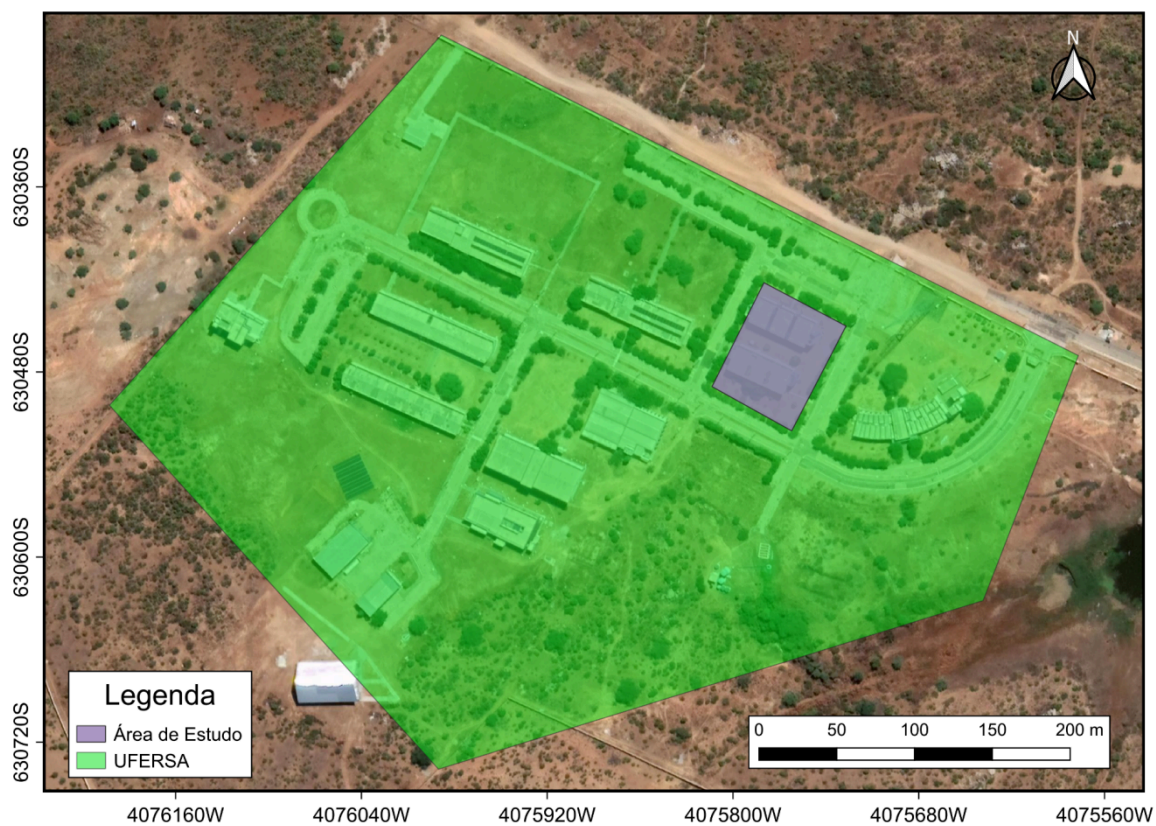
SEGUNDO, Vanderbio Duarte Rodrigues. **ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE EQUIPAMENTOS UTILIZADOS NOS LEVANTAMENTOS TOPOGRÁFICOS PLANIALTIMÉTRICOS**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Bacharelado em Ciência e Tecnologia) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufersa.edu.br/items/1ddc1db4-f277-49a9-8cbf-98815f776cba>. Acesso em: 25 out. 2024.

TAVARES, Daniel Corcino. **Comparação da eficiência de levantamentos planialtimétricos feitos com RPA em diferentes alturas de voo**, 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciências e Tecnologia) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2021.

TULER, Marcelo; SARAIVA, Sérgio. **Fundamentos de Topografia**. Porto Alegre: Bookman, 2014. 308 p. Disponível em: <https://app.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788582601204/>. Acesso em: 26 jan. 2024.

VEIGA, Luis Augusto Koenig; ZANETTI, Maria Aparecida Z.; FAGGION, Pedro Luis. **FUNDAMENTOS DE TOPOGRAFIA**. Fortaleza: Ufc, 2007. 195 p. Disponível em: <http://www.gpeas.ufc.br/disc/topo/apost04.pdf>. Acesso em: 08 abr. 2024.

APÊNDICE A – MAPA DA UFERSA - CAMPUS ANGICOS



Fonte: Autoria própria (2024)

APÊNDICE B – TABELA DE PONTOS ESTUDADOS DO PARÂMETRO ALTURA

50m		75m		100m	
Pontos	Elevação (m)	Pontos	Elevação (m)	Pontos	Elevação (m)
P1	100,6227	P1	99,6567	P1	96,5739
P11	100,3980	P11	99,4829	P11	96,2589
P21	100,3913	P21	99,4853	P21	96,2445
P31	100,3764	P31	99,4775	P31	96,2532
P41	100,3846	P41	99,4773	P41	96,2546
P51	100,3859	P51	99,4726	P51	96,2617
P61	100,3508	P61	99,4471	P61	96,2420
P71	100,3408	P71	99,4409	P71	96,2281
P81	100,3452	P81	99,4493	P81	96,2441
P91	100,3398	P91	99,4568	P91	96,2616
P101	100,3213	P101	99,4439	P101	96,2606
P111	100,2959	P111	99,4199	P111	96,2546
P121	100,2781	P121	99,3838	P121	96,2218
P131	100,2772	P131	99,3899	P131	96,2320
P141	100,2735	P141	99,3926	P141	96,2467
P151	100,2476	P151	99,3885	P151	96,2557
P161	100,2302	P161	99,3707	P161	96,2360
P171	100,2223	P171	99,3628	P171	96,2450
P181	100,2199	P181	99,3540	P181	96,2356
P191	100,2288	P191	99,3599	P191	96,2660
P201	100,1993	P201	99,3355	P201	96,2574
P211	100,1836	P211	99,3396	P211	96,2493
P221	100,1456	P221	99,3241	P221	96,2481
P231	100,1861	P231	99,3671	P231	96,2591
P241	100,0780	P241	99,3023	P241	96,2506
P251	100,0383	P251	99,2653	P251	96,1926
P261	99,9918	P261	99,2368	P261	96,1787
P271	99,9512	P271	99,2042	P271	96,1650
P281	99,9147	P281	99,1734	P281	96,1576
P291	99,8837	P291	99,1383	P291	96,1144
P301	99,8634	P301	99,1079	P301	96,0810
P311	99,8423	P311	99,0921	P311	96,0652

P316	99,8297	P316	99,0837	P316	96,0647
------	---------	------	---------	------	---------

Fonte: Autoria Própria (2024)

APÊNDICE C – TABELA DE OSCILAÇÃO DA ELEVAÇÃO DO PARÂMETRO ALTURA

<i>Pontos</i>	<i>ELEVAÇÃO</i>		
	<i>50m</i>	<i>75m</i>	<i>100m</i>
P1	6,3773	7,3433	10,4261
P11	6,6020	7,5171	10,7411
P21	6,6087	7,5147	10,7555
P31	6,6236	7,5225	10,7468
P41	6,6154	7,5227	10,7454
P51	6,6141	7,5274	10,7383
P61	6,6492	7,5529	10,7580
P71	6,6592	7,5591	10,7719
P81	6,6548	7,5507	10,7559
P91	6,6602	7,5432	10,7384
P101	6,6787	7,5561	10,7394
P111	6,7041	7,5801	10,7454
P121	6,7219	7,6162	10,7782
P131	6,7228	7,6101	10,7680
P141	6,7265	7,6074	10,7533
P151	6,7524	7,6115	10,7443
P161	6,7698	7,6293	10,7640
P171	6,7777	7,6372	10,7550
P181	6,7801	7,6460	10,7644
P191	6,7712	7,6401	10,7340
P201	6,8007	7,6645	10,7426
P211	6,8164	7,6604	10,7507
P221	6,8544	7,6759	10,7519
P231	6,8139	7,6329	10,7409
P241	6,9220	7,6977	10,7494
P251	6,9617	7,7347	10,8074
P261	7,0082	7,7632	10,8213
P271	7,0488	7,7958	10,8350
P281	7,0853	7,8266	10,8424
P291	7,1163	7,8617	10,8856
P301	7,1366	7,8921	10,9190
P311	7,1577	7,9079	10,9348

P316	7,1703	7,9163	10,9353
------	--------	--------	---------

Fonte: Autoria própria (2024)

APÊNDICE D – TABELA DE PONTOS ESTUDADOS DO PARÂMETRO ISO

PONTOS	ELEVAÇÃO			
	ISO 100	ISO 800	ISO 1600	ISO 3200
P1	106,7989	106,7084	101,2659	106,7480
P11	106,8016	106,7279	101,1168	106,4278
P21	106,7488	106,5919	101,0653	106,4475
P31	106,7481	106,6054	101,0732	106,4566
P41	106,7459	106,5820	101,0832	106,4583
P51	106,7607	106,6064	101,1079	106,4635
P61	106,7319	106,6053	101,1113	106,4583
P71	106,7200	106,5761	101,0735	106,4475
P81	106,7327	106,5902	101,0832	106,4564
P91	106,7505	106,6117	101,1095	106,4846
P101	106,7474	106,6144	101,1252	106,4940
P111	106,7368	106,5911	101,1250	106,4884
P121	106,7062	106,5641	101,1006	106,4592
P131	106,7010	106,5490	101,0866	106,4488
P141	106,7235	106,5577	101,0992	106,4572
P151	106,7410	106,5573	101,1158	106,4669
P161	106,7207	106,5467	101,1190	106,4576
P171	106,7199	106,5510	101,1285	106,4724
P181	106,7369	106,5393	101,1393	106,4707
P191	106,7478	106,5558	101,1626	106,4694
P201	106,7581	106,5353	101,1684	106,4711
P211	106,7473	106,5392	101,1680	106,4717
P221	106,7427	106,5271	101,1875	106,4807
P231	106,7411	106,5135	101,1858	106,4683
P241	106,7372	106,5013	101,2117	106,4787
P251	106,6943	106,4596	101,1645	106,4447
P261	106,6764	106,4300	101,1612	106,4147

P271	106,6413	106,3939	101,1202	106,3671
P281	106,6142	106,3647	101,1080	106,3455
P291	106,5857	106,3324	101,0915	106,3276
P301	106,5750	106,3072	101,0785	106,3140
P311	106,5643	106,2934	101,0826	106,3032
P316	106,5631	106,2876	101,0856	106,2970

Fonte: Autoria própria (2024)

APÊNDICE E – TABELA DE OSCILAÇÃO DA ELEVAÇÃO DO PARÂMETRO ISO

<i>Pontos</i>	<i>ISO 100</i>	<i>ISO 800</i>	<i>ISO 1600</i>	<i>ISO 3200</i>
P1	0,2011	0,2916	5,7341	0,2520
P11	0,1984	0,2721	5,8832	0,5722
P21	0,2512	0,4081	5,9347	0,5525
P31	0,2519	0,3946	5,9268	0,5434
P41	0,2541	0,4180	5,9168	0,5417
P51	0,2393	0,3936	5,8921	0,5365
P61	0,2681	0,3947	5,8887	0,5417
P71	0,2800	0,4239	5,9265	0,5525
P81	0,2673	0,4098	5,9168	0,5436
P91	0,2495	0,3883	5,8905	0,5154
P101	0,2526	0,3856	5,8748	0,5060
P111	0,2632	0,4089	5,8750	0,5116
P121	0,2938	0,4359	5,8994	0,5408
P131	0,2990	0,4510	5,9134	0,5512
P141	0,2765	0,4423	5,9008	0,5428
P151	0,2590	0,4427	5,8842	0,5331
P161	0,2793	0,4533	5,8810	0,5424
P171	0,2801	0,4490	5,8715	0,5276
P181	0,2631	0,4607	5,8607	0,5293
P191	0,2522	0,4442	5,8374	0,5306
P201	0,2419	0,4647	5,8316	0,5289
P211	0,2527	0,4608	5,8320	0,5283
P221	0,2573	0,4729	5,8125	0,5193
P231	0,2589	0,4865	5,8142	0,5317
P241	0,2628	0,4987	5,7883	0,5213
P251	0,3057	0,5404	5,8355	0,5553
P261	0,3236	0,5700	5,8388	0,5853
P271	0,3587	0,6061	5,8798	0,6329

P281	0,3858	0,6353	5,8920	0,6545
P291	0,4143	0,6676	5,9085	0,6724
P301	0,4250	0,6928	5,9215	0,6860
P311	0,4357	0,7066	5,9174	0,6968
P316	0,4369	0,7124	5,9144	0,7030

Fonte: Autoria própria (2024)

APÊNDICE F – TABELA DE PONTOS ESTUDADOS DO PARÂMETRO VELOCIDADE

<i>Pontos</i>	6m/s	10m/s	<i>Pontos</i>	6m/s	10m/s
P1	103,9254	107,6060	P171	103,9161	107,3251
P11	104,0956	107,4385	P181	103,9218	107,3064
P21	103,8692	107,4280	P191	103,9289	107,3011
P31	103,8706	107,4374	P201	103,9363	107,2774
P41	103,8779	107,4454	P211	103,9343	107,2659
P51	103,8949	107,4397	P221	103,9397	107,2531
P61	103,8951	107,4039	P231	103,9296	107,2537
P71	103,8911	107,4042	P241	103,9482	107,1960
P81	103,8975	107,4167	P251	103,8964	107,1564
P91	103,9135	107,4089	P261	103,8877	107,1096
P101	103,9252	107,4108	P271	103,8412	107,0735
P111	103,9314	107,3750	P281	103,8137	107,0321
P121	103,9007	107,3579	P291	103,7818	107,0032
P131	103,8749	107,3585	P301	103,7625	106,9775
P141	103,8908	107,3685	P311	103,7589	106,9491
P151	103,9069	107,3331	P316	103,7526	106,9340
P161	103,9138	107,3274			

APÊNDICE G – TABELA DE OSCILAÇÃO DA ELEVAÇÃO DO PARÂMETRO VELOCIDADE

<i>Pontos</i>	6m/s	10m/s	<i>Pontos</i>	6m/s	10m/s
P1	3,0746	0,6060	P171	3,0839	0,3251
P11	2,9044	0,4385	P181	3,0782	0,3064
P21	3,1308	0,4280	P191	3,0711	0,3011
P31	3,1294	0,4374	P201	3,0637	0,2774
P41	3,1221	0,4454	P211	3,0657	0,2659
P51	3,1051	0,4397	P221	3,0603	0,2531
P61	3,1049	0,4039	P231	3,0704	0,2537
P71	3,1089	0,4042	P241	3,0518	0,1960
P81	3,1025	0,4167	P251	3,1036	0,1564
P91	3,0865	0,4089	P261	3,1123	0,1096
P101	3,0748	0,4108	P271	3,1588	0,0735
P111	3,0686	0,3750	P281	3,1863	0,0321
P121	3,0993	0,3579	P291	3,2182	0,0032
P131	3,1251	0,3585	P301	3,2375	0,02248
P141	3,1092	0,3685	P311	3,2411	0,05087
P151	3,0931	0,3331	P316	3,2474	0,06596
P161	3,0862	0,3274			

Fonte: Autoria própria (2024)

APÊNDICE H – TABELA DE PONTOS ESTUDADOS DO PARÂMETRO FORMATO DE IMAGEM

<i>Pontos</i>	JPEG	<i>Pontos</i>	JPEG
P1	101,6054535	P171	101,3301315
P11	101,3911362	P181	101,3306274
P21	101,3507614	P191	101,3472672
P31	101,3519135	P201	101,3294907
P41	101,3532791	P211	101,3272781
P51	101,3559799	P221	101,3300552
P61	101,3390045	P231	101,3172989
P71	101,3236084	P241	101,3128281
P81	101,3336716	P251	101,2732086
P91	101,3511276	P261	101,2526169
P101	101,3568192	P271	101,2005539
P111	101,3407516	P281	101,1730576
P121	101,3017654	P291	101,1443481
P131	101,2993546	P301	101,1250153
P141	101,3179855	P311	101,1095428
P151	101,3273544	P316	101,1045532
P161	101,3186569		

Fonte: Autoria própria (2024)

**APÊNDICE I – TABELA DE OSCILAÇÃO DA ELEVAÇÃO DO PARÂMETRO
FORMATO DE IMAGEM**

<i>Pontos</i>	Oscilação (m)	<i>Pontos</i>	Oscilação (m)
P1	5,3945	P171	5,6699
P11	5,6089	P181	5,6694
P21	5,6492	P191	5,6527
P31	5,6481	P201	5,6705
P41	5,6467	P211	5,6727
P51	5,6440	P221	5,6699
P61	5,6610	P231	5,6827
P71	5,6764	P241	5,6872
P81	5,6663	P251	5,7268
P91	5,6489	P261	5,7474
P101	5,6432	P271	5,7994
P111	5,6592	P281	5,8269
P121	5,6982	P291	5,8557
P131	5,7006	P301	5,8750
P141	5,6820	P311	5,8905
P151	5,6726	P316	5,8954
P161	5,6813		

Fonte: Autoria própria (2024)