UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CAMPUS DE ENGENHARIA E CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE ENGENHARIA DE AGRIMENSURA

GUSTAVO HENRIQUE CABRAL DE MELO

ANÁLISE DA EFICIÊNCIA E PRECISÃO DA APLICAÇÃO DE LASER SCANNER *LIDAR* NO LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO PARA PROJETOS DE INFRAESTRUTURA

RIO LARGO/AL
2023

GUSTAVO HENRIQUE CABRAL DE MELO

ANÁLISE DA EFICIÊNCIA E PRECISÃO DA APLICAÇÃO DE LASER SCANNER *LIDAR* NO LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO PARA PROJETOS DE INFRAESTRUTURA

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado banca examinadora do Curso de Graduação Bacharelado em Engenharia de Agrimensura, da Universidade Federal de Alagoas como exigência parcial para a obtenção do título de engenheiro agrimensor.

Orientador: Jhonathan Gomes dos Santos

RIO LARGO/AL

2023

Catalogação na Fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Campus de Engenharias e Ciências Agrárias
Bibliotecário Responsável: Erisson Rodrigues de Santana - CRB4 - 1512

M528a Melo, Gustavo Henrique Cabral de.

Análise da eficiência e precisão da aplicação de laser scanner *lidar* no levantamento topográfico para projetos de infraestrutura / Gustavo Henrique Cabral de Melo. – 2023.

51f.: il.

Orientador(a): Jhonathan Gomes dos Santos.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Agrimensura) – Graduação em Engenharia de Agrimensura, Campus de Engenharias e Ciências Agrárias, Universidade Federal de Alagoas. Rio Largo, 2023.

Inclui bibliografia

1. GNSS. 2. Levantamento topográfico. 3. Laser scanner. 4. Nivelamento geométrico. I. Título.

CDU: 528.4

Folha de Aprovação

GUSTAVO HENRIQUE CABRAL DE MELO

ANÁLISE DA EFICIÊNCIA E PRECISÃO DA APLICAÇÃO DE LASER SCANNER *LIDAR* NO LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO PARA PROJETOS DE INFRAESTRUTURA

Monografia apresentada ao curso de Engenharia de Agrimensura da Universidade Federal de Alagoas, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia de Agrimensura.

Aprovação: 02/06/2023

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
gov.br
JHONATHAN GOMES DOS SANTOS
Data: 12/06/2023 22:11:33-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof. Mestre Jhonathan Gomes dos Santos — UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS – UFAL (Orientador)

Documento assinado digitalmente
gov.br
AYRTON MARTIM OLIVEIRA DIAS MELO
Data: 12/06/2023 22:49:19-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof. Mestre Ayrton Martim Oliveira Dias Melo – UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS - UFAL

Documento assinado digitalmente
gov.br
ANDRE PINTO ROCHA
Data: 13/06/2023 10:57:02-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof. Mestre André Pinto Rocha – INSTITUTO FEDERAL DE ALAGOAS - IFAL

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar meus sinceros agradecimentos a todas as pessoas que contribuíram para a realização deste trabalho. Sem o apoio, orientação e incentivo dessas pessoas, esta conquista não seria possível.

Primeiramente, gostaria de agradecer a Deus por me guiar nesta jornada e por me conceder força e sabedoria ao longo dos caminhos da vida. Sua presença constante e orientação foram fundamentais para meu crescimento pessoal e acadêmico.

À minha família, minha mãe Adenilza, meus irmãos Pedro e Paulo, minhas tias, minha Vó Benedita e minha esposa Thalynne, expresso minha profunda gratidão. Vocês sempre acreditaram em mim, me incentivaram e me apoiaram em todas as etapas da minha vida acadêmica. Seu apoio incondicional e encorajamento foram fundamentais para minha perseverança e sucesso neste trabalho. Sou verdadeiramente abençoado por ter uma família tão amorosa e dedicada.

Gostaria também de manifestar minha gratidão ao meu orientador/professor Jhonathan. Sua dedicação, expertise e orientação foram fundamentais para a conclusão deste trabalho. Agradeço por investir seu tempo, paciência e por fornecer valiosos conselhos ao longo deste processo. Sua orientação foi de extrema importância para o meu crescimento acadêmico e profissional, e sou grato por todo o conhecimento transmitido.

Agradeço aos amigos que fiz ao longo dessa graduação e no âmbito profissional. Meus amigos Vitor Hugo, Marcelo, Arthur, Carlos Vitor, Vinícius, Antony e Jaelisson, cada um de vocês desempenhou um papel importante na minha jornada. Também gostaria de expressar minha gratidão aos meus amigos da C4 Engenharia, especialmente Cassio e Darlan, por me proporcionarem uma oportunidade de trabalho e crescimento pessoal e profissional. Agradeço por cederem generosamente os equipamentos utilizados neste TCC, além de todo apoio fornecido ao longo deste trabalho.

Aos meus colegas de classe e amigos que estiveram ao meu lado durante toda essa jornada acadêmica, expresso meu sincero agradecimento. Nossas discussões, troca de ideias e apoio mútuo foram essenciais para o desenvolvimento das minhas ideias e para manter minha motivação ao longo do processo. Agradeço por compartilharem essa jornada comigo e por serem fonte de inspiração e aprendizado contínuo.

Por fim, gostaria de agradecer a todos aqueles que, de alguma forma, contribuíram para o desenvolvimento deste estudo. Aos professores que transmitiram conhecimentos essenciais durante toda a minha trajetória acadêmica.

RESUMO

O objetivo deste trabalho é comparar a precisão e a qualidade dos produtos gerados a partir do Perfilamento com *Laser Scanner LiDAR* embarcado em Drones e Topografia Convencional com *GNSS*. O levantamento topográfico é utilizado como base de aplicação de uma obra a partir de uma planta da superfície terrestre, isto significa que, o levantamento topográfico se define como o produto da topografia. O sistema de varredura a *laser* (*laser scanning*) aerotransportado é uma ferramenta utilizada para determinar as coordenadas tridimensionais de pontos na superfície terrestre. A área de estudo escolhida para ser objeto desse trabalho, foi um trecho da rodovia AL-205, localizado no município de Marechal Deodoro – AL. O trecho se inicia no viaduto do Francês e vai até a entrada do condomínio denominado Lagos do Francês. A partir disso, desenvolveu-se o presente trabalho.

Palavras-chaves: *GNSS*. Levantamento topográfico. Topografia. *Laser scanner. LiDAR. Nivelamento geométrico.*

ABSTRACT

The objective of this work is to compare the precision and quality of the products generated from Profiling with Laser Scanner *LiDAR* onboard Drones and Conventional Topography with *GNSS*. The topographic survey is used as the basis for the application of a work from a plan of the earth's surface, this means that the topographic survey is defined as the product of topography. The airborne laser scanning system is a tool used to determine the three-dimensional coordinates of points on the Earth's surface. The study area chosen to be the object of this work was a stretch of the AL-205 highway, located in the municipality of Marechal Deodoro - AL. The stretch starts at the Frances viaduct and goes to the entrance of the condominium called Lagos do Frances. From this, the present work was developed.

Keywords: *GNSS*. Topographic survey. Topography.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 6
1.1. Objetivos 7
1.1.1. Objetivo geral 7
1.1.2. Objetivos específicos 8
2. REFERENCIAL TEÓRICO 8
2.1 Conceito e contextualização histórica da topografia 8
2.1.1 NBR 13133 - Execução de levantamentos topográficos 9
2.1.2 Normatização da cartografia- Decreto Lei nº 89.817 10
2.2 Levantamento e processamento de dados 11
2.2.1 *GNSS* 11
2.2.2 Nivelamento Geométrico 15
2.2.3 Método Estatístico 18
2.2.4 Aeronaves Remotamente Pilotadas VANTs 20
2.2.5 Escaneamento A *Laser* Aerotransportado 22
2.3 Nuvem de pontos, MDS E MDT 24
2.3.1 Nuvem de pontos 24
2.3.2 Modelo Digital de Superfície (MDS) e Modelo Digital de Terreno (MDT) ... 25
3. Materiais e Métodos 25
3.1 Área de estudo 27
3.2 Levantamento de campo 28
3.2.1 Topografia *GNSS*/RTK 28
3.2.2 Escaneamento a *laser* 30
3.2.3 Nivelamento altimétrico com nível digital 31
3.3 Processamento 32
3.3.1 *GNSS* 32
3.3.2 *LiDAR* 34
3.3.3 Nivelamento geométrico 40
3.3.4 Comparação entre Dados Altimétricos *GNSS*, *LiDAR* e Nivelamento Geométrico 41
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES 41
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS 46
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 48

1. INTRODUÇÃO

Os mais antigos vestígios da aplicação da agrimensura, remonta ao Antigo Egito através de papiros e pinturas em monumentos e tumbas funerárias, as quais retratam a aplicação desta profissão. O agrimensor era um funcionário nomeado pelo faraó com a tarefa de avaliar os prejuízos das cheias e restabelecer as fronteiras entre as diversas propriedades (SILVA; SILVA, 2018).

A Engenharia de Agrimensura é a área responsável por obter, processar e analisar os dados coletados em campo das feições do terreno, sendo ela indispensável para todo projeto de engenharia, regularização fundiária e análises espaciais (DIAS; OLIVEIRA; SANTOS, 2022).

Silva e Silva (2018), acreditam que a crescente demanda de mercado fomentam a necessidade de agilidade no alcance e tratamento de dados da superfície, explorando o relevo, simulando superfícies, como também determinando volumes de maneira eficaz, segura e prática, logo, ressalta-se que a topografia aparece como um instrumento necessário para a execução de serviços relacionados à engenharia, bem como, a representação de superfícies para medições de volumes ou caracterização de relevo.

Com o avanço da tecnologia no mundo, os profissionais da topografia e agrimensura devem adaptar-se ao novo e o que melhore a produtividade de trabalho, com isso surge a aerofotogrametria, maneira de obter informações precisas de uma determinada região é através do uso de imagens fotográficas obtidas a partir de câmeras acopladas a aeronaves (DIAS; OLIVEIRA; SANTOS, 2022).

A aerofotogrametria surgiu, como quase toda tecnologia mundial, de estudos militares e para utilização na guerra. O uso de aeronaves era feito para estudar campos inimigos e planejar ataques. Anos mais tarde o uso de aeronaves foi substituído por RPA's – *Remote Piloted Aircrafts* (Aeronaves Remotamente Pilotadas) – que inicialmente tinham os mesmos fins. Com a abertura e popularização das tecnologias dos RPA's, passou-se a ser utilizado em projetos de engenharia. Vários tipos de drones, nome popular para os RPA, são utilizados para aquisição de dados para trabalhos de engenharia (MONTELO; OLIVE, 2021).

O mercado de levantamentos no Brasil tem vivenciado o efeito do surgimento de uma nova ferramenta, a varredura a *laser*. O sistema de escaneamento a *laser*

aerotransportado (*Airborne Laser Scanning*) aerotransportado é um método para a determinação de coordenadas tridimensionais de pontos na superfície da terra. Seu funcionamento baseia-se na utilização de um pulso de laser que é disparado na direção da superfície (MACHADO; TOMMASELLI, 2018).

A inserção dos drones na engenharia possibilitou uma aquisição de dados mais rápida e mais detalhada das feições do terreno, enquanto com a utilização das estações totais o representado em plantas topográficas era a interpretação do topógrafo e de sua visualização em campo (MONTELO; OLIVE, 2021).

A combinação da tecnologia de drones com os novos conceitos de modelagem de terreno e espaço, referentes aos *softwares* existentes resultam num grande passo explicado pela versatilidade e economia de processos, que até então não eram muito conhecidos, considerando também fatores importantes como a segurança. A agilidade com que esses processos de reconhecimento são realizados trazem estas e outras vantagens (MONTELO; OLIVE, 2021).

O conhecimento a respeito do ambiente se faz de grande relevância no que se refere à produção científica no âmbito da engenharia. O emprego das mais avançadas técnicas implica numa tarefa de alto custo, como a topografia de precisão, que utiliza de métodos e instrumentos considerados de alta tecnologia, a exemplo dos receptores *GNSS* que trabalham no método *Real Time Kinematic* (RTK), a reprodução de uma parcela da superfície física da Terra na forma de um modelo digital de terreno (MDT) (MENZORI; LAROUCHE, 2020).

Neste sentido, o presente trabalho busca comparar a precisão e a qualidade dos produtos gerados a partir do Escaneamento a Laser aerotransportado, Levantamento com *GNSS* e Nivelamento Geométrico

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo geral

Analisar a acurácia de levantamento topográficos a partir de três metodologias: escaneamento a laser aerotransportado por RPA, Levantamento com *GNSS*/RTK e Nivelamento Geométrico.

1.1.2. Objetivos específicos

- Realizar levantamentos topográficos a partir de três metodologias: escaneamento a laser aerotransportado por RPA, Levantamento com *GNSS*/RTK e Nivelamento Geométrico;
- Gerar os produtos Topográficos, específicos de cada metodologia e suas particularidades;
- Processar os dados e comparar a qualidade dos dados obtidos por cada metodologia de levantamento;
- Comparar acurácia e a qualidade dos produtos gerados a partir do Escaneamento a Laser aerotransportado em relação ao Nivelamento Geométrico.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Conceito e contextualização histórica da topografia

As primeiras evidências de registros topográficos são datadas de 1400 a.C. pelos egípcios, onde a demarcação de terras ao longo do rio Nilo era realizada através do uso de uma corda, tal ferramenta servia para descrever e avaliar as propriedades rurais e urbanas. Sabe-se que a utilização da topografia é conhecida desde seus primórdios por meio de plantas, cartas militares e geográficas. Entretanto, dado o avanço significativo da topografia nos últimos séculos, foi possível graças ao desenvolvimento da física e matemática obter comprovações científicas (SILVA; SEGANTINE, 2015).

De acordo com McComarc, Sarasua e Davis (2017), o termo topografia se origina do grego: "*topos*" (lugar) e "*graphen*" (descrever), logo, significa a descrição exata e minuciosa de um lugar e tem por finalidade determinar o contorno, dimensão e posição relativa de uma porção limitada da superfície terrestre, como também é utilizada para determinar uma porção limitada do fundo dos mares ou ainda do interior

de minas, desconsiderando a curvatura relacionada ao formato esférico da Terra. Além disso, o mesmo autor refere que a Topografia abrange ainda a locação de projetos elaborados de Engenharia.

Brandalize (2015) conceitua topografia como a ciência que “tem por objetivo o estudo dos instrumentos e métodos utilizados para obter a representação gráfica de uma porção do terreno sobre uma superfície plana”.

Logo, entende-se que o principal objetivo da topografia é executar medições de ângulos, distâncias e desníveis, permitindo representar uma porção da superfície terrestre em uma determinada escala. Para as operações levantadas em campo, o objetivo consiste em coletar dados para a posterior representação, assim, sendo chamado levantamento topográfico (BRANDALIZE, 2015).

2.1.1 NBR 13133 - Execução de levantamentos topográficos

O levantamento topográfico é utilizado como base de aplicação de uma obra a partir de uma planta da superfície terrestre, isto significa que, o levantamento topográfico se define como o produto da topografia. “Consiste em todas as operações, equipamentos e procedimentos necessários para se efetuar uma representação precisa o suficiente da superfície do local” (SILVA, 2017).

A norma regulamentadora que trata sobre a execução de levantamentos topográficos é a chamada NBR 13133, instituída em 1994, esclarece as condições necessárias para a execução de levantamentos topográficos destinados a obter (ABNT, 2021, p.1): Conhecimento geral do terreno- relevo, limites, confrontantes, área, localização, amarração e posicionamento; Informações sobre o terreno destinadas a estudos preliminares de projeto; Informações sobre o terreno destinadas a anteprojetos ou projetos básicos; Informações sobre o terreno destinadas a projetos executivos.

Sendo assim, deve-se considerar as dimensões da área a ser levantada e sua finalidade básica, enquadrando-o em uma das classes para estabelecer a metodologia

de um levantamento topográfico de modo que esteja de acordo com o que é regulamentado pela referida norma.

2.1.2 Normatização da cartografia- Decreto Lei Nº 89.817

No Brasil, existe o Decreto de Lei nº 89.817 de 1984, onde são estabelecidas as Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional, trazendo sobre: o controle do processo e o produto final, com sua classificação; os elementos obrigatórios de uma carta; o sistema geodésico brasileiro e outros (BRASIL, 1984).

A referida norma cria o Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) de acordo com sua escala, para avaliação e classificação da acurácia posicional, onde 90% dos pontos isolados de altitude, obtidos por interpolação de curvas-de-nível, quando testados no terreno, não deverão apresentar erro superior ao Padrão de Exatidão Cartográfica -Altimétrico estabelecido. Avaliando a exatidão das cartas a partir de um indicador estatístico de dispersão com 90% de probabilidade, que corresponde a 1,6449 vezes o Erro Padrão – PEC. Sendo que o Erro-Padrão isolado num trabalho cartográfico, não pode ultrapassar 60,8% do Padrão de Exatidão Cartográfica. As cartas avaliadas, conforme os critérios estabelecidos no artigo 9º, podem ser enquadradas nas Classes A, B ou C” (BRASIL, 1984).

Os atuais padrões da Cartografia Nacional para a classificação de cartas quanto a sua exatidão e que fazem parte do decreto 89.817 de 20/06/84 estão resumidos no Quadro 1.

Quadro 1: Classe de cartas

	PLANIMETRIA		ALTIMETRIA	
CLASSE	PEC	EP	PEC	EP
A	0,5 mm x E	0,3 mm x E	3/5 EQ	2/5 EQ
B	0,8 mm x E	0,5 mm x E	3/5 EQ	2/5 EQ
C	1,0 mm x E	0,6 mm x E	3/4 EQ	1/2 EQ

Fonte: Decreto 89.817 (1984)

Onde PEC é o Padrão de Exatidão Cartográfica = 1,6449. EP; EP é o Erro Padrão (1σ); E é Escala da Carta; e EQ se trata da Eqüidistância das Curvas de Nível.

A qualidade dos produtos cartográficos e todos os documentos cartográficos devem obedecer ao Padrão de Exatidão Cartográfica - PEC, definido por lei, no Decreto n° 89.817/84.

2.2 Levantamento e processamento de dados

Aqui se apresentarão informações históricas, técnicas, aplicabilidade dos métodos aplicados para obtenção dos dados: *GNSS,* Nível- Nivelamento Geométrico, *VANTs* e *Laser Scanner*.

2.2.1 *GNSS*

Conceitua-se *GNSS* (*Global Navigation Satellite System - GNSS*) ou Sistema Global de Navegação por Satélite como um conjunto de “satélites que possibilita o posicionamento em tempo real de objetos, bem como a navegação em terra ou mar”. Esses sistemas são empregados em diversas áreas, desde mapeamentos topográficos e geodésicos, bem como na aviação, navegação marítima e terrestre, além de serem utilizados também no monitoramento de frotas, demarcação de fronteiras, agricultura de precisão, entre outros usos (IBGE, 2023).

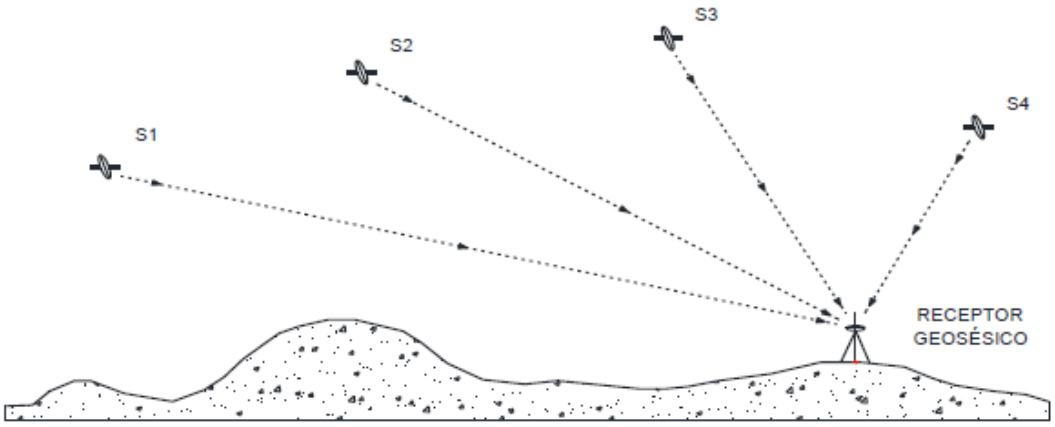
Historicamente, o exército dos Estados Unidos foi pioneiro no uso da funcionalidade total do *GNSS*. Em seguida, tal sistema passou a ser operado pela União Soviética, tendo esta criado seu próprio sistema *GNSS*, denominado GLONASS (SILVA; SILVA, 2018).

O sistema *GNSS* permite verificar a exata localização geográfica de um ponto em qualquer parte mundo, formado pelos sistemas de navegação GPS, GLONASS (ambos desenvolvidos originalmente para uso militar e que, gradativamente, foram sendo incorporados às aplicações civis) e o sistema Galileo, que está sendo desenvolvido com um propósito estritamente civil (DELAZARI, 2005).

O princípio de funcionamento do *GNSS* ocorre à medida que as componentes do sistema transmitem de maneira contínua um sinal de rádio em forma de onda

eletromagnética, estes sinais contêm informações acerca da sua posição orbital, vinculada a um referencial geodésico formando cones de atuação, que formam as interseções com um, dois, três e quatro satélites e o tempo marcado por seu relógio atômico interno. São necessários três satélites para ter-se uma posição bidimensional e quatro para uma localização tridimensional, conforme mostra a Figura 1 (ZANOTTA; CAPPELLETTO; MATSUOKA, 2011).

Figura 1: Princípio de funcionamento *GNSS*



Fonte: ZANOTTA, et al. (2011).

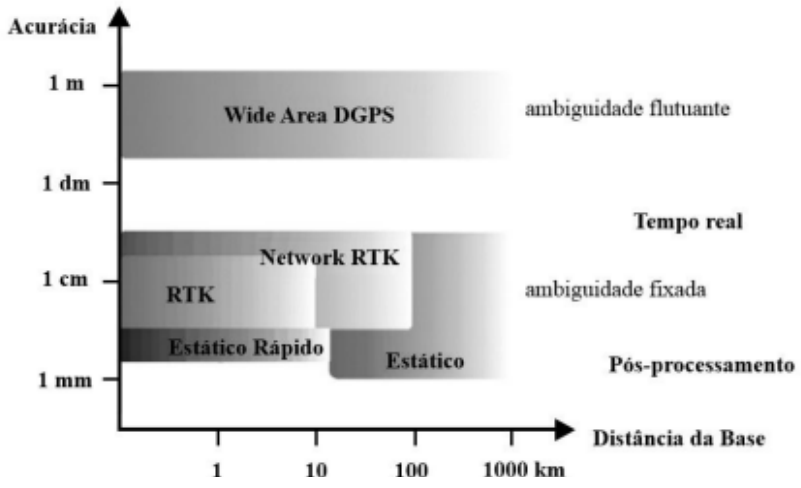
Com o advento do RTK (*Real Time Kinematic*), um dos métodos de levantamento com *GNSS*, Dantas (2019) afirma que isto “possibilitou redução nos tempos de ocupação, sendo necessários segundos ao invés de minutos em cada ponto levantado, o que permite obtenção de dados de forma instantânea e acurada ainda em campo”. Este método faz uso de dois receptores, sendo um estacionário e um móvel. O estacionário, ou estação base, como o nome sugere permanece estático, possui coordenadas conhecidas e calcula de maneira constante os erros além de executar transmissão de correções de coordenadas para o receptor móvel. Já o receptor móvel, o chamado *rover*, é transportado ponto a ponto no decurso da coleta de dados. Essa ferramenta, diferente dos equipamentos tradicionais, não requer visibilidade entre estações, o que reduz demandas de tempo e equipe técnica (JACOBS, 2005).

Gili, Corominas e Rius (2000) fizeram uso de um *GNSS*-RTK para formação de mapas topográficos e a partir daí foi possível constatar que, em relação aos métodos

de levantamento clássicos já conhecidos, a cobertura e produtividade são superiores para uma acurácia similar, como 12 a 16 mm na horizontal e 18 a 24 mm de elevação.

De acordo com Nakao e Krueger (2017), o posicionamento através do GPS se refere à determinação da posição de objetos em relação a um referencial e períodos específicos, podendo ser realizado a partir de diferentes técnicas e observáveis, capazes de fornecer níveis de precisão que variam desde dezenas de metros até poucos milímetros. Os métodos de posicionamento podem ser classificados em: Absoluto – quando as coordenadas estão associadas diretamente ao geocentro; Relativo – o vetor formado entre as estações base e móvel é calculado, possibilitando a determinação das coordenadas desta estação que estão atreladas a um referencial materializado por um ou mais vértices de coordenadas conhecidas; Diferencial – as coordenadas da estação móvel são calculadas com o emprego das correções diferenciais geradas na estação de referência, sendo que estas correções podem ser enviadas por um meio de comunicação para a estação móvel, neste caso as coordenadas são determinadas em tempo real.

Figura 2: Precisão dependente da distância em relação a base para os diferentes métodos de posicionamento



Fonte: Nakao; Krueger (2017)

O método absoluto pode ser executado com as técnicas estática ou cinemática, que se utiliza da antena estática ou em movimento. Caracteriza-se pela adoção de um receptor a fim de determinar as coordenadas de um ponto (ϕ, λ, h ou X, Y, Z) sobre a superfície terrestre, referidas ao sistema de referência vinculado ao sistema de

posicionamento por satélites. Este método determina as coordenadas em tempo real, sendo então chamado de Posicionamento por Ponto (PP), onde se faz uso de receptores de navegação, empregando-se para o cálculo da posição de pontos sobre a superfície terrestre a pseudodistância derivada do código C/A presente na portadora L1 e a mensagem de navegação. No Serviço de Posicionamento Padrão (SPS), as precisões planimétricas alcançadas são de aproximadamente 13 metros e 25 metros (95%), horizontal e vertical, respectivamente (NAKAO; KRUEGER, 2017).

No posicionamento relativo, objetiva-se determinar um vetor entre estes dois pontos, a partir das coordenadas de um ponto desconhecido, com pós-processamento em relação a um ponto de coordenadas conhecidas. Este vetor é chamado de linha base, devido à sua similaridade com a triangulação clássica de medições de bases geodésicas. As antenas do receptor da estação de referência e do receptor remoto devem captar, simultaneamente, os sinais de um número mínimo de quatro satélites. Quanto maior o número de satélites simultâneos que puderem ser vistos no horizonte das antenas receptoras, maior será a quantidade de dados coletados para a estimativa das coordenadas dos pontos de interesse (MENZORI; SEGANTINE, 2010).

No método de posicionamento diferencial se tem por finalidade a eliminação de erros comuns no conjunto de equipamentos utilizados, localizados numa mesma área, com o fim de se obter coordenadas com melhores precisões possíveis. Os erros podem ocorres por fatores como erros dos relógios e a variação na propagação dos sinais nas camadas da atmosfera. Se a antena receptora for colocada numa estação de coordenadas conhecidas (estação de referência), as diferenças entre as coordenadas conhecidas e as coordenadas geradas pelo receptor se mostram como erros. Estes erros variam, continuamente, ao longo das observações, tornando-se necessário a definição de valores precisos para a estação móvel. Uma maneira de resolver este problema é armazenar os dados dos receptores e realizar as correções, no pós-processamento; outra forma é transmitir os dados da estação de referência para a antena remota. Neste caso, os erros são calculados pelo receptor da estação de referência, em tempo real, definindo assim o método de levantamento diferencial que foi idealizado para garantir e aumentar a precisão e a segurança na navegação, principalmente na aproximação de navios para atracarem nos portos (MENZORI; SEGANTINE, 2010).

2.2.2 Nivelamento Geométrico

De acordo com a NBR 13133 (2021), o nivelamento é responsável por realizar “a medida da diferença de nível entre pontos do terreno por intermédio de leituras correspondentes a visadas horizontais, obtidas com um nível, em miras colocadas verticalmente nos referidos pontos”.

De maneira clara, compreende-se nivelamento geométrico como a operação que tem por finalidade a determinação do desnível entre dois pontos a partir da leitura em miras (estádias ou em código de barras) executadas com níveis ópticos ou digitais. Este pode ser realizado para fins geodésicos ou topográficos. A diferença entre ambos está na precisão (maior no caso do nivelamento para fins geodésicos) e no instrumental utilizado (VEIGA; ZANETTI; FAGGION, 2012).

Outra explicação para o nivelamento geométrico é dada por Gehlen e Werly (2018), onde este é aplicado numa barragem, realizado em marcos superficiais para assim, determinar as diferenças altimétricas que correspondem a pontos de referência para o controle de possível deslocamento do maciço, de tal maneira que as condições da fundação sejam capazes de impedir qualquer movimento.

Silva e Silva (2019) classificam o nivelamento geométrico em simples e composto. Sendo o nivelamento geométrico realizado por meio de visadas horizontais através do uso de instrumentos como níveis topográficos e miras verticais graduadas. Já no nivelamento simples a diferença de nível é dada entre dois pontos; de maneira que, com o equipamento instalado são realizadas as leituras dos dois pontos. No nivelamento composto para fazer o cálculo da diferença de nível é indispensável fazer mais instalações entre o ponto de partida e o ponto de chegada, é empregado quando o terreno possui desníveis acentuados ou quando a distância a ser percorrida é grande.

Ao reposicionar a mira de vante do lance anterior para a leitura do lance seguinte, deve-se atentar para que esta permaneça sobre o mesmo ponto, para assim, evitar erros na determinação do desnível. É possível empregar o equipamento que se denomina sapata, sobre o qual a mira é apoiada. Colocando-a no solo, permite-se o giro da mira sem causar deslocamentos na mesma. Em trabalhos para fins

topográficos não é comum o uso de sapatas, sendo elas de uso obrigatório para a determinação de desníveis em Geodésia (VEIGA; ZANETTI; FAGGION, 2012).

Ao executar o nivelamento, recomenda-se que os comprimentos das visadas de ré e de vante devem ser aproximadamente iguais e de, no máximo, 80 m, sendo o ideal o comprimento de 60m, de modo a compensar os efeitos da curvatura terrestre e da refração atmosférica, além de melhorar a exatidão do levantamento por facilitar a leitura da mira. Para evitar os efeitos do fenômeno de reverberação, as visadas devem situar-se acima de 50 cm do solo. As miras devem ser posicionadas aos pares, com alternância a vante e a ré, de modo que a mira posicionada no ponto de partida (lida a ré) seja posicionada, em seguida, no ponto de chegada (lida a vante), sendo conveniente que o número de lances seja par. Este procedimento aqui descrito tem por finalidade eliminar o chamado erro de índice, que se trata da distância entre a base inferior da mira até a primeira graduação da escala. Para isto, deve-se realizar um número par de lances para cada seção. (VEIGA; ZANETTI; FAGGION, 2012).

Ainda de acordo com Veiga, Zanetti e Faggion (2012), o método de nivelamento das visadas extremas compreende a determinação do desnível entre a posição do nível e da mira através do conhecimento da altura do nível e da leitura efetuada sobre a mira. A grande conveniência deste método é o rendimento apresentado, pois se instala o nível em uma posição e faz-se a varredura dos pontos que se deseja determinar as cotas, porém tem como desvantagem não eliminar os erros como curvatura, refração e colimação, além da necessidade de medir a altura do instrumento, o que pode introduzir um erro de 0,5 cm ou maior. Para evitar este último, costuma-se realizar uma visada de ré inicial sobre um ponto de cota conhecida, e desta forma determinar a altura do instrumento já no referencial altimétrico a ser utilizado. Em alguns casos pode ser necessário determinar a cota de pontos localizados na parte superior de uma estrutura e, neste caso, a única diferença é que a leitura efetuada com a mira nesta posição deve ser considerada negativa.

Define-se níveis, os equipamentos que possibilitam determinar com precisão um plano horizontal ortogonal à vertical definida pelo eixo principal do equipamento. Estes podem ser classificados em níveis ópticos e digitais. Tratando-se dos níveis ópticos podem ser classificados em mecânicos e automáticos. Em que nos ópticos o nivelamento "fino ou calagem" do equipamento é realizado através de níveis de bolha

bi-partida. Já nos níveis ópticos automáticos a linha de visada é nivelada automaticamente, dentro de um certo limite, utilizando-se um sistema compensador (pendular). Os níveis digitais podem ser enquadrados nesta última categoria. Nesta categoria se realiza a leitura na mira automaticamente se utilizando de miras em código de barra (VEIGA; ZANETTI; FAGGION, 2012).

O objetivo do cálculo de nivelamento é determinar a cota média de um terreno, o que pode ser alcançado por meio das equações apresentadas abaixo. A diferença de nível (DN) entre dois pontos é expressa pela equação 1. (VEIGA at al., 2007).

Equação 1

$$DN_{AB} = L_{RÉ}\,(A) - L_{VANTE}\,(B)$$

Ao utilizar a equação 1 para determinar a diferença de nível entre os dois primeiros pontos em nosso estudo, definimos a linha de visada do nível na Ré e na Vante como Plano de Referência (P.R), conforme ilustrado na Figura 3, e calculamos seus valores por meio da equação 2.

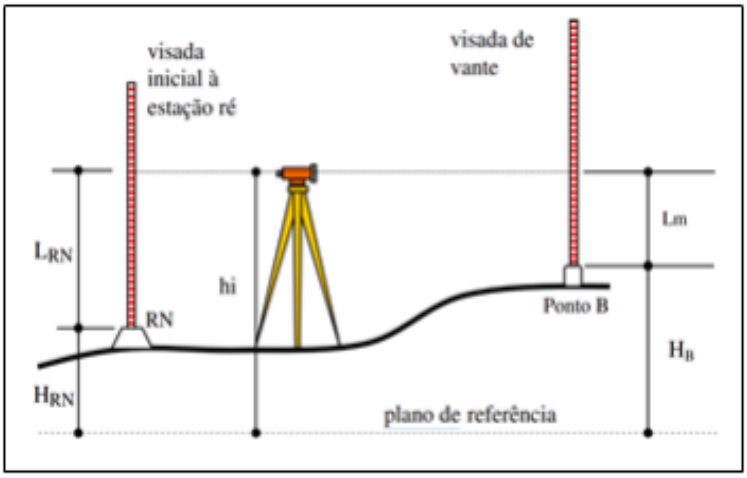
Equação 2

$$P.R = altitude_{INICIAL} + L_{RÉ}$$

Equação 3

$$h_{i\,\neq 1} = P.R - L_{VANTE}$$

Figura 3: Representação do Plano de Referência do nivelamento



Fonte: VEIGA, et al. (2007).

A NBR 13.133 classifica os níveis segundo o desvio padrão de 1km de duplo nivelamento conforme a Tabela 1:

Tabela 1: Classificação dos níveis conforme a precisão

Classificação dos Níveis	
Classe dos Níveis	Desvio-Padrão
1-Precisão Baixa	>±10mm/km
2-Precisão Média	≤±10mm/km
3-Precisão Alta	≤3mm/km
4-Precisão Muito Alta	≤±1mm/km

Fonte: NBR, 13.133 (2021)

Na execução do nivelamento geométrico é necessário instalar o nível entre os pontos, ler e registrar de maneira fidedigna as leituras mantendo o equipamento nivelado, utilizar equipamentos em boas condições, certificar-se de que a instalação do equipamento esteja em lugar firme e seguro, evitar realizar visadas de grandes distâncias, como também, evitar leituras inferiores a aproximadamente meio metro. Seguindo esse procedimento é possível minimizar a ocorrência de erros. Quanto aos “erros ocasionados pela curvatura terrestre, refração atmosférica e colimação do nível, são minimizados através do método das visadas iguais (método mais preciso e utilizado na engenharia)”, tal método consiste na obtenção de uma igual distância entre o nível e a linha visada de ré, e entre o nível e a linha visada da vante, de maneira que tal distância não exceda 2 metros (VEIGA; ZANETTI; FAGGION, 2012, p. 201).

2.2.3 Método Estatístico

Utiliza-se o método estatístico para calcular o erro médio e desvio padrão e erro padrão dos pontos levantados de acordo com a metodologia, como base de referência o Nivelamento geométrico. O livro “Introdução à estatística” de Azevedo (2016) foi utilizado para o embasamento teórico dos cálculos estatísticos, tendo sido utilizado os seguintes métodos estatísticos:

1. Média aritmética de valores isolados

Se $\frac{X1,X1,\ldots,X1}{f1\ vezes}$, $\frac{X2,X2,\ldots,X2}{f2\ vezes}$, ... , $\frac{Xn,Xn,\ldots,Xn}{fn\ vezes}$ é uma série de valores repetidos, tem-se que a média aritmética, neste caso, é o quociente entre a soma dos valores do conjunto e o número total de valores, ou seja:

$$\overline{X} = \frac{\sum_{i=1}^{n} fi\ Xi}{\sum_{i=1}^{n} fi}$$

2. Desvio Padrão

É a raiz quadrada da média dos quadrados dos desvios, tomados em relação à média aritmética. O desvio padrão é calculado por:

$$S = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} fi\ (Xi - \overline{X})^2 / \sum_{i=1}^{n} fi} \qquad (8.2)$$

3. Erro Padrão

De acordo com Paes (2008), o cálculo do erro padrão é obtido pela divisão do desvio padrão pela raiz quadrada do tamanho da amostra. O desvio padrão é uma medida de dispersão dos dados ao redor da média, enquanto a raiz quadrada do tamanho da amostra é usada para ajustar o erro padrão para amostras maiores ou menores. A fórmula para calcular o erro padrão é:

$$EP = \frac{s}{\sqrt{n}}$$

Onde:

EP: erro padrão

s: desvio padrão da amostra

n: tamanho da amostra

2.2.4 Aeronaves Remotamente Pilotadas VANTS

Os Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT), vem da sigla inglês UAV, que por extenso é *Unmanned Aerial Vehicle*. Estes veículos receberam bastante notoriedade devido a sua relevância nos últimos anos. A sigla abrange todos os veículos aéreos que não necessitam da presença de uma pessoa a bordo para serem pilotados. Entretanto, o nome atribuído a este equipamento pode sofrer variações de acordo com a área de estudo em que está inserido, como por exemplo *Unmanned Vehicle Systems* (UVS) ou *Remotely Piloted Vehicle* (RPV) e *Aeronave Remotamente Pilotada* (ARP) (DANTAS, 2019).

Embora o uso comercial deste veículo seja recente, sabe-se que a ideologia dos voos não tripulados antecede aos artefatos voadores tripulados (LONGHITANO, 2012).

A primeira fotografia aérea em voo não tripulado que se tem registros foi executada por Arthur Batat em 1888, por meio de uma câmera fixada a uma pipa. Contudo, o primeiro avião não tripulado foi desenvolvido por Kettering Aerial Torpedo, em 1918, projetado na França por Charles Kettering e guiado por sistema pré-pneumático e controles elétricos (SILVA; SILVA, 2018).

Registros da primeira aeronave não tripulada, ou seja, pilotada remotamente por rádio datam de 1935, por Reginald Denny, chamada RP-1. Após isso, foram desenvolvidos mais de 15 mil VANTs para a Segunda Guerra Mundial em 1962. Em 1970 começou-se a desenvolver plataformas para uma maior autonomia de voo (LONGHITANO, 2012).

Conforme esclarece Jensen (2009), o VANT foi inicialmente programado para fins militares, sua tecnologia era utilizada em missões táticas específicas ou que necessitem de longa autonomia de voo para reconhecimento ou vigilância. Mas atualmente são encontrados vários modelos no meio civil com diversas aplicações.

Ferreira (2019) traz que o raio de ação de um VANT tático pode permanecer em voo por um largo período de forma imperceptível no espaço aéreo, quando se trata de um VANT tático com grande autonomia de voo e tamanho reduzido podendo superar até 200 km de distância da base principal.

A partir daí o desenvolvimento dessas aeronaves foram cada vez mais aprimorados, “designers dos Estados Unidos e de Israel começaram a desenvolver veículos menores, mais acessíveis financeiramente e acoplados com câmeras que transmitiam imagens em tempo real, utilizados apenas para fins militares e segurança pública” (SILVA; SILVA, 2018, p. 11).

Com o passar dos anos as pesquisas realizadas nesse âmbito constataram que a aplicação de VANTs se desenvolveu e tem sido utilizada em atividades como: vigilância, segurança, sensoriamento remoto, monitoramento, observação e manutenção (DANTAS, 2019).

O uso de VANTs tem sido bastante utilizado nas pesquisas acerca do sensoriamento remoto porque gera um baixo custo de aquisição de dados de alta resolução espacial quando comparados a uma aeronave tripulada ou satélite para a mesma finalidade. Ademais, uma das vantagens é o fato de as imagens obtidas serem mais acuradas e acessadas a qualquer momento, inclusive é possível fazê-las mais de uma vez no mesmo dia, diferentemente das obtidas de satélites (CHAVES; et al., 2015).

Sendo assim, o VANT se torna economicamente mais viável para a aquisição de dados cadastrais de pequenas porções territoriais. Possibilita ainda, minimizar a interferência causada pelas nuvens na obtenção das imagens (MATIAS; GUZATTO; SILVEIRA, 2015).

Dantas (2019) elenca as categorias em que se enquadram essa tecnologia que podem variar a depender da instituição que a determina. A Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) apresenta as “Orientações para Usuários de Drones” em três tipos de operação, adotadas de acordo com a visibilidade do RPA, e três classes, que variam com o peso máximo de decolagem desse equipamento.

No Brasil, a ANAC propõe uma classificação a partir dos critérios relacionados às características da operação, considerando peso, altitude, operação em linha de visual ou ainda, operação noturna, operação em áreas confinadas, entre outras. Considerando estas características, a ANAC sugere um determinado grau de exigência necessária para operação para uma futura regulamentação da utilização destes equipamentos (FERREIRA, 2019).

Segundo a ANAC (2017), quanto ao tipo a operação pode ser enquadrada como: *Beyond Visual Line-of-Sight* (BVLOS), ou Voo Além da Linha de Visada Visual)– ainda que com o auxílio de um observador o piloto não consegue manter o RPA dentro do campo visual; *Visual Line of Sight* (VLOS)– é possível ao operador manter contato visual direto com o RPA sem necessidade de qualquer equipamento. *Extended Visual Line of Sight* (EVLOS) – operação em que o contato visual apenas é possível com auxílio de lentes, outros equipamentos ou presença de um observador de RPA.

2.2.5 Escaneamento A *Laser* Aerotransportado

O sistema de varredura *lase*r (*laser scanning*) aerotransportado é uma ferramenta utilizada para determinar as coordenadas tridimensionais de pontos na superfície terrestre. *LiDAR*, sigla utilizada para *Light Detection and Ranging*, é um termo que tem sido utilizado para designar esta nova tecnologia de sensoriamento remoto. Em português vem sendo utilizada a terminologia de Sistema de Varredura a Laser. O funcionamento deste sistema é baseado na utilização de um pulso de *laser* que executa um disparo em direção à superfície, que ao atingi-la parte do sinal emitido é refletida na direção do sensor. O sensor consegue determinar a intensidade do sinal de retorno e o intervalo de tempo transcorrido desde a emissão até a captação do retorno, que é utilizado para realizar o cálculo da distância sensor-objeto, considerando que o pulso laser se propaga à velocidade da luz (LAGE; et al, 2017).

Os sistemas *LiDAR* vêm recebendo grande visibilidade devido a sua alta capacidade para a aquisição de uma grande quantidade de informações num curto período. Inicialmente seu uso era destinado ao levantamento de dados para a elaboração de Modelos Digitais de Elevação (MDE), ao tempo em que os métodos tradicionais conhecidos não eram suficientes, principalmente em áreas de difícil acesso (GIONGO; et al., 2010).

Dantas (2019) explica sobre a instalação do *LiDAR*, que pode se dar em plataformas aéreas, conhecido como Laser Scanner Aerotransportado (LSA), como também terrestres, chamado Laser Scanner Terrestre (LST). A característica de

destaque deste equipamento se dá pela alta densidade de pontos amostrais coletados com alta precisão e em curto intervalo de tempo.

Sobre o funcionamento do *LiDAR*, entende-se que a origem do funcionamento do sistema de varredura a *laser* se dá por meio da emissão de um pulso *laser* de uma plataforma (que pode ser aérea, terrestre ou orbital) com uma alta frequência de repetição. O tempo de resposta dos pulsos *laser* entre a plataforma e os alvos é medido pelo sensor, permitindo a estimativa destas distâncias. O sistema *LiDAR* dispõe de fonte própria de energia, em que uma fonte de luz, o *laser*, emite radiação eletromagnética em ondas curtas (1-10 μm sendo sensível às perturbações atmosféricas e, assim, é considerado um método direto na captura de dados e classificado como um sensor ativo (GIONGO; et al., 2010).

O desenvolvimento de metodologias para processamento de dados *LiDAR* tem permitido uma vasta aplicação prática e operacional nas pesquisas nos âmbitos das engenharias, meio ambiente e geociências. Destaca-se ainda como viável alternativa acerca da aquisição automática do Modelo Digital de Terreno (MDT) para mapeamentos de grande escala e alta acurácia (PACHECO; et al., 2011).

Dentre as vantagens elencadas na utilização do laser, os sensores de varredura a laser comparados aos sensores passivos clássicos- que seriam as fotografias aéreas e imagens de satélite- é que os *scanners* a *laser* não estão sujeitos à luz solar como uma fonte de iluminação. Dessa forma, a análise dos dados não sofre interferência ou será prejudicada por sombras derivadas das nuvens ou objetos vizinhos. Além disso, outro ponto importante deste sensor se refere aos pulsos de laser que são capazes de penetrar através de pequenas aberturas no dossel da floresta e fornecer informações sobre a estrutura terrestre e sobre o relevo destas áreas (WAGNER; et al, 2004; GIONGO; et al., 2010).

2.3 Nuvem de pontos, MDS E MDT

2.3.1 Nuvem de pontos

O *LiDAR,* como já mencionado nesta pesquisa, trata-se de um método de sensoriamento de maneira remota que se utiliza de escâneres digitais que permitem ser transportados por uma pessoa ou em veículos, para medir conjuntos de pontos tridimensionais, criando o que se chama de nuvens de pontos (MENZORI; LAROUCHE, 2020).

O conjunto de medições formam uma nuvem de pontos com coordenadas tridimensionais disseminados de forma irregular na superfície do terreno, segundo o padrão de varredura. Este conjunto pode ser interpretado como dados vetoriais, ou como transformado ao formato *raster* e ser processado como uma grade regular. A segunda opção é comumente mais adotada, pois sugere redução significativa da quantidade de dados (CENTENO, MITISHIBA, 2007).

O conjunto de pontos é representado como uma "nuvem" cuja distribuição está relacionada ao padrão de varredura utilizado. Tais pontos se classificam de acordo com a elevação, com identificação de pontos sobre o terreno e pontos sobre vegetação ou edificações (BRANDALIZE, 2002).

Uma nuvem de pontos possui o registro de todas as feições existentes no entorno da posição do escâner, considerando seus limites de captura, e contém elementos de interesse vertical, como os vãos das pontes, as torres de transmissão, os postes e as fachadas dos prédios e edifícios (MENZORI; LAROUCHE, 2020).

A nuvem de pontos que é gerada por meio das posições do escâner se trata de um arquivo independente que possui um sistema próprio de coordenadas, e todos os pontos 3D nela contidos estão referidos a esse sistema individual.

Os pontos digitalmente registrados existentes em uma nuvem permitem reproduzir qualquer superfície com elevada fidelidade. Tais recursos são trabalhados para gerar o chamado *Dense Surface Matching* (DSM) uma modelagem altimétrica digital do terreno, como também permite gerar o Modelo Digital de Terreno (MDT) (BALLESTEROS; et al., 2014).

2.3.2 MODELO DIGITAL DE SUPERFÍCIE (MDS) E MODELO DIGITAL DE TERRENO (MDT)

Modelo Digital de Elevação (MDE) ou DEM (*Digital Elevation Model*, em inglês), trata-se de uma maneira mais abrangente da representação da superfície e contém tanto informações do terreno exposto quanto as feições acima dele. O MDS é representado pela “superfície do terreno acrescida de quaisquer objetos existentes sobre ela e que influenciem no valor da reflectância do pixel”. Já o Modelo Digital de Terreno (MDT), por outro lado, “representa a superfície real do terreno. Essa representação do terreno é valiosa para geração de produtos como curvas de nível a ortoimagens” (DANTAS, 2019).

Os Modelos Digitais de Superfície (MDS) consideram alvos que se localizam acima do terreno, tais como feições antrópicas (edificações, rodovias) e vegetação. Um estudo foi capaz de constatar que O MDS derivado de imagens tomadas por câmera de pequeno formato a bordo de um VANT é compatível com dados de elevação gerados por *LiDAR* aerotransportado (OLIVEIRA, et al., 2017).

Um MDT se define por meio da representação do comportamento de um fenômeno que decorre numa região da superfície terrestre. Os dados de MDTs são de suma relevância nas aplicações de geoprocessamento desenvolvidas no ambiente de um Sistema de Informações Geográficas (FELGUEIRAS, 1999).

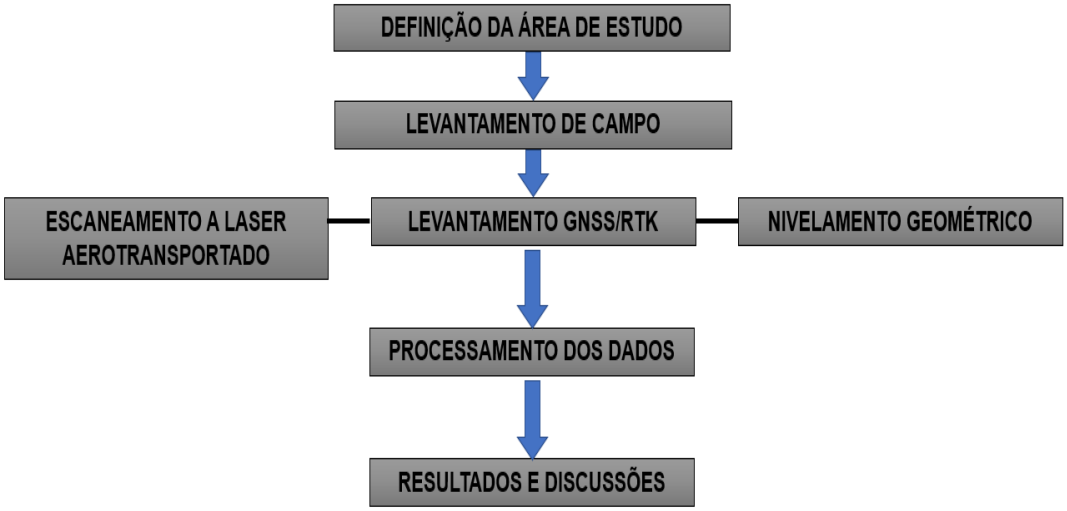
3. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo será descrito os materiais utilizados, bem como a metodologia utilizada nesta pesquisa, desde o planejamento ao processamento dos dados, figura 4 o fluxograma para melhor entendimento das etapas aplicadas nesse estudo.

3.1 MATERIAIS

- Notebook *Acer Predator Helios* 300: Processador INTEL CORE I7 11° geração, 32 Gb de RAM, SSD 2,5 Tb, Placa de Vídeo Dedicada NVIDEA RTX 3070;
- Um par de receptores *GNSS*/RTK marca CHCNAV modelo I50: 624 Canais; Frequências: L1/L2/L5; Constelações: GPS, GLONASS, GALILEO, BEIDOU, SBAS, QZSS; RTK: Precisão Horizontal 8mm + 1ppm RMS, Precisão Vertical 15mm + 1ppm RMS; Modo Estático: Precisão Horizontal 3mm + 0,5ppm RMS, Precisão Vertical 5mm + 0,5ppm RMS.
- Nível Digital *GEODETIC* Modelo DL202: Leitura Digital 1,5mm; Ampliação 32X;
- ARP DJI MATRICE 300RTK;
- *LASER SCANNER LIDAR CHCNAV ALPHA* AIR450: Acuracia Absoluta: VERTICAL 10cm, HORIZONTAL 5cm; Taxa de Escaneamento 720000 PTS/S (TRÊS RETORNOS); Taxa de Atualização IMU: 500Hz;
- Serviço Online Para Pós-Processamento de Dados *GNSS* – IBGE-PPP;
- *Softwares* para Planejamento e Execução de Voo Automatizada: UGCS(PAGO);
- *Software* de Pré-Processamento de Nuvem de Pontos: COPRE2 (PAGO);
- *Software* para manipulação e geração de MDT: RISCAN PRO2(PAGO);
- *Software* para manipulação e análise de dados da Nuvem De Pontos: COPROCESS2(PAGO);
- *Software* SIG: QGIS(GRATUITO);
- PACOTE *OFFICE* 365;
- *Software* METRICA TOPO(PAGO).

Figura 4: Fluxograma metodologia

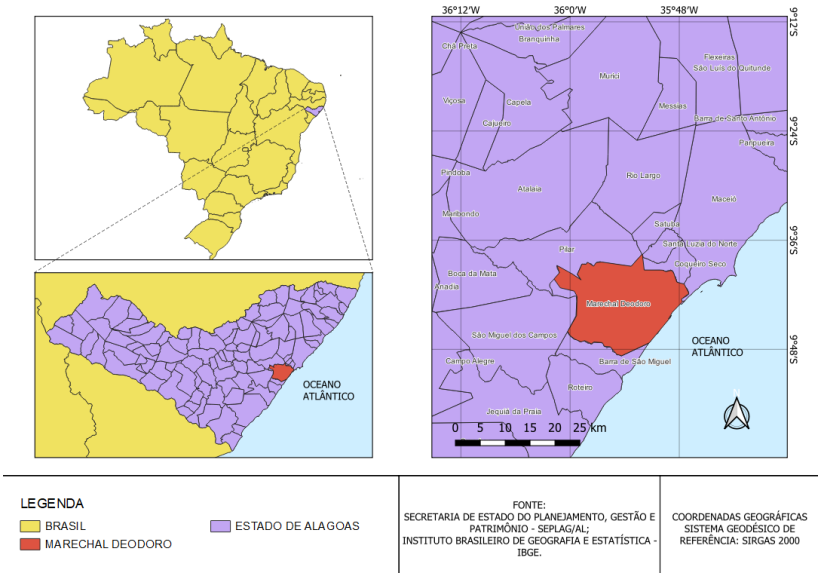


Fonte: Imagem de autoria própria (2023).

3.1 ÁREA DE ESTUDO

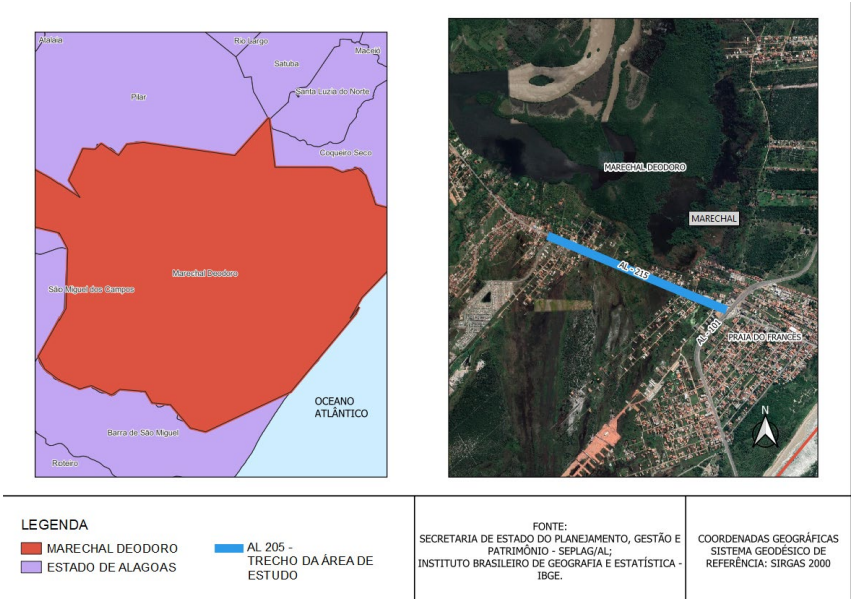
A área de estudo escolhida para ser objeto desse trabalho foi um trecho da rodovia AL-205, localizado no município de Marechal Deodoro – AL. O trecho inicia-se no viaduto do Francês e vai até a entrada do condomínio denominado Lagos do Francês, percorrendo uma extensão de aproximadamente 1,5km, conforme a figura 5.

Figura 5: Mapa de localização do município de Marechal Deodoro



Fonte: Imagem de autoria própria (2023).

Figura 6: Área de estudo



Fonte: Imagem de autoria própria (2023).

3.2 Levantamento de campo

Esse tópico abordará os processos e equipamentos empregados para a execução desse trabalho. Abordando sobre as metodologias utilizadas nos levantamentos, processamento e tratamento dos dados obtidos com *Laser Scanner LiDAR, GNSS* e Nivelamento Geométrico.

3.2.1 Topografia *GNSS*/RTK

A fase inicial do trabalho de campo, foi a instalação da base *GNSS* num marco existente, de propriedade a empresa BRK Ambiental, denominado M222. Esse marco foi rastreado por mais de 4 horas, para posteriormente ser feito o pós-processamento e correção das ambiguidades *GNSS* via método de pós-processamento online, o IBGE PPP.

Primeiro passo foi instalar a Base *GNSS* no marco M222 (Figura 7), localizado na área de estudo, na entrada do Condomínio Lagos do Francês, em Marechal

Deodoro; segundo, foi feito a medida da altura da antena até seu centro de fase, pois necessita-se dessa medida para que seja feito o cálculo da altitude normal da base e a devida correção da referência de nível das coordenadas o Rover.

Figura 7: Marco de apoio base M222

Fonte: Imagem de autoria própria (2023).

A partir do marco M222, foi levantado e cadastrado os pontos de checagem no bordo da rodovia. Foram implantados ao longo de aproximadamente 1,5km 30 pontos de checagem, esses pontos tiveram uma equidistância aproximadamente de 50 metros. Nessa etapa do trabalho foi utilizado o método de levantamento foi o RTK (*Real Time Kinematic*). Os pontos levantados no bordo da rodovia foram locados e feito o desenho de um triângulo (Figura 8) para que fosse feito o nivelamento geométrico desses pontos, para posterior análise e comparação das três metodologias aplicadas no trabalho, todo o levantamento com *GNSS*/RTK levou em média 1:30 para ser feito.

Figura 8: Pontos de checagem

Fonte: Imagem de autoria própria (2023).

3.2.2 Escaneamento a *laser*

Para o escaneamento a Laser aerotransportado, necessitamos de um ponto de coordenadas conhecida para ser nosso ponto de base, foi escolhido o Marco M222, pois é necessário que tenha uma base *GNSS* ligada ao mesmo tempo do vôo, para que seja feito as correções das coordenadas do sistema *GNSS* do laser scanner. Nesse tipo de levantamento o ARP e o laser scanner fazem o papel de Rover, coletando as coordenadas durante o percurso do voo, essas coordenadas serão corrigidas no trabalho de pós-processamento.

A execução seguiu os parâmetros definidos no planejamento do voo, conforme a quadro 2:

Quadro 2: Parâmetros no planejamento de voo

DETALHES DO VÔO	VALORES
TEMPO DE VÔO	13 minutos
ÁREA DE COBERTURA DE VÔO	22,5 Ha
LINHAS DE VÔO	2
ALTURA DE VÔO (AGL)	50m
VELOCIDADE DE VÔO	5 m/s
DISTÂNCIA ENTRE AS LINHAS DE VÔO	50 m
DENSIDADE DE PONTOS 3 RETORNOS *LIDAR*	720 Pts/m²

Fonte: autoria própria (2023).

Todo o voo foi feito de forma automatizada no software de voo UGCS, dessa maneira conseguiremos um resultado mais preciso na captação dos dados a partir do sistema *LiDAR*. Primeiramente ao iniciar o escaneamento a laser, é feito a calibração do sistema inercial do laser scanner*,* nele é feito o desenho de um oito (como podemos visualizar na figura 9), para depois seguir o levantamento.

O ARP voou a uma altitude de 50 m AGL – *Above Ground Level* (acima do nível do solo) de maneira que ele varia sua altitude de acordo com a elevação do relevo, ou seja, mantém sua altura constante em 50 metros de distância do solo. Manteve uma velocidade constante de 5m/s e uma distância lateral entre linhas de voo de 50 metros entre as duas faixas de voo.

Figura 9: Planejamento de Voo no software UGCS

Fonte: Imagem de autoria própria (2023).

Figura 10: Drone M300 + *Laser Scanner LiDAR*

Fonte: Imagem de autoria própria (2023).

3.2.3 Nivelamento altimétrico com nível digital

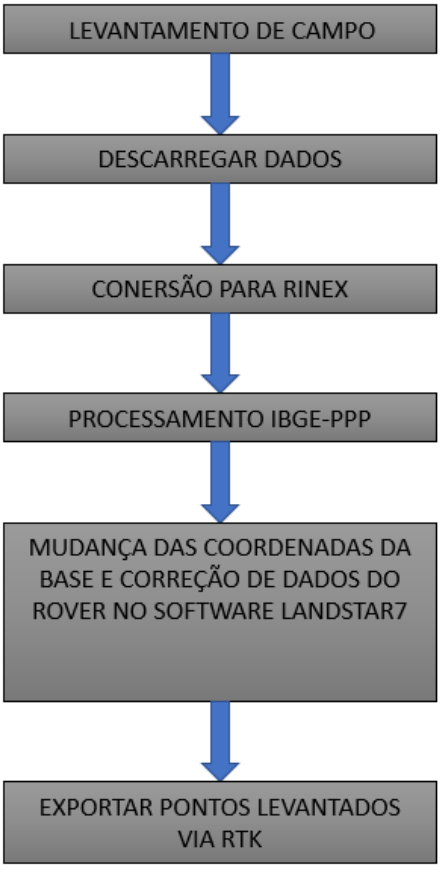
Nessa etapa, foi feito o nivelamento e contranivelamento entre o marco principal M222 e os pontos de checagem implantados no bordo da rodovia, tendo o marco M222 como RN de partida para todo o trabalho. Para a realização dessa etapa, foi utilizado o Nível digital da Geodetic modelo DL202, este foi instalado em um local aberto e que possa visualizar bem os pontos a serem levantados. Iniciado a leitura RE

no marco M222 de altitude normal de 3,98m, em seguida, visado o ponto VANTE PS01 e calculado sua altitude, daí seguiu-se o nivelamento dos pontos, passando ponto “E0” até o ponto final de checagem E29, totalizando 30 pontos, implantados ao longo de aproximadamente 1,5km.

3.3 Processamento

3.3.1 *GNSS*

Figura 11: Fluxograma processamento de dados *GNSS*

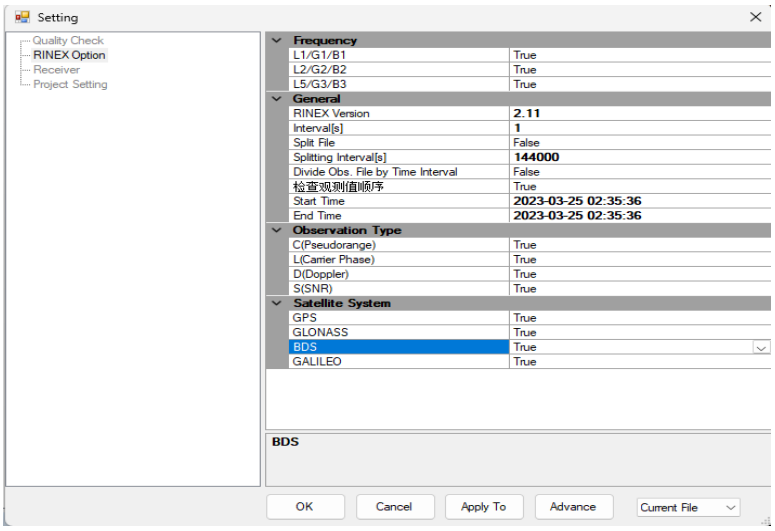


Fonte: Imagem de autoria própria (2023).

No processamento de dados *GNSS*, primeiramente é feito a transferências dos dados brutos do *GNSS* base via cabo de dados para o computador. O tipo de arquivo utilizado pela marca *ChCNav* é o *HCN*, esse formato precisa ser convertido para o formato *Rinex* 2.11, o formato compatível com a plataforma IBGE-PPP. Para essa conversão, foi utilizado o software *CHCData*, nele foi inserido o arquivo da base em

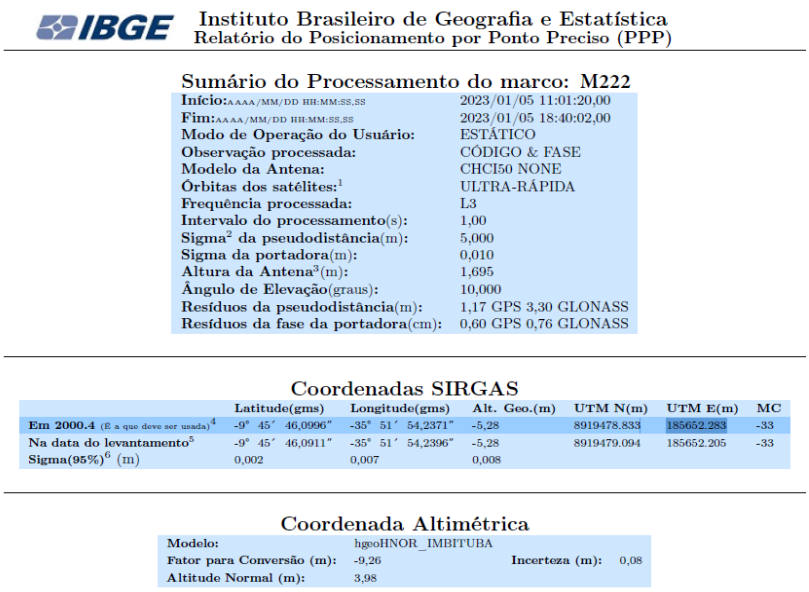
formato *HCN*, colocados os parâmetros de conversão, bem como a altura da base. Posteriormente, já com o arquivo da base em formato *Rinex*, foi feito o pós-processamento dos dados *GNSS* via IBGE-PPP, gerando o relatório de processamento da Figura 11 e no Quadro 3.

Figura 12: Parâmetros de conversão hcn para rinex



Fonte: Imagem de autoria própria (2023).

Figura 13: Relatório de processamento *GNSS* via IBGE-PPP



IBGE Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
Relatório do Posicionamento por Ponto Preciso (PPP)

Sumário do Processamento do marco: M222

Início: AAAA/MM/DD HH:MM:SS,SS	2023/01/05 11:01:20,00
Fim: AAAA/MM/DD HH:MM:SS,SS	2023/01/05 18:40:02,00
Modo de Operação do Usuário:	ESTÁTICO
Observação processada:	CÓDIGO & FASE
Modelo da Antena:	CHCI50 NONE
Órbitas dos satélites:[1]	ULTRA-RÁPIDA
Frequência processada:	L3
Intervalo do processamento(s):	1,00
Sigma[2] da pseudodistância(m):	5,000
Sigma da portadora(m):	0,010
Altura da Antena[3](m):	1,695
Ângulo de Elevação(graus):	10,000
Resíduos da pseudodistância(m):	1,17 GPS 3,30 GLONASS
Resíduos da fase da portadora(cm):	0,60 GPS 0,76 GLONASS

Coordenadas SIRGAS

	Latitude(gms)	Longitude(gms)	Alt. Geo.(m)	UTM N(m)	UTM E(m)	MC
Em 2000.4 (E a que deve ser usada)[4]	-9° 45′ 46,0996″	-35° 51′ 54,2371″	-5,28	8919478.833	185652.283	-33
Na data do levantamento[5]	-9° 45′ 46,0911″	-35° 51′ 54,2396″	-5,28	8919479.094	185652.205	-33
Sigma(95%)[6] (m)	0,002	0,007	0,008			

Coordenada Altimétrica

Modelo:	hgeoHNOR_IMBITUBA		
Fator para Conversão (m):	-9,26	**Incerteza (m):**	0,08
Altitude Normal (m):	3,98		

Fonte: Imagem de autoria própria (2023).

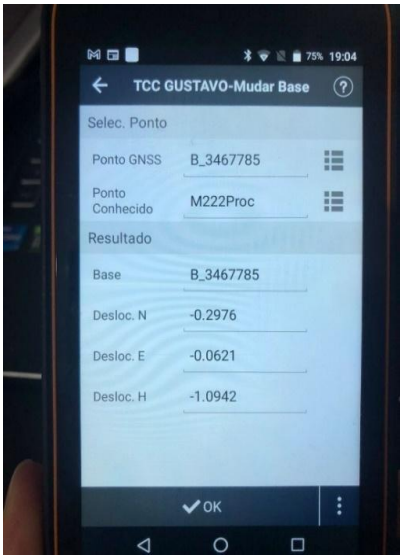
Quadro 3: Coordenadas desvio padrão do marco m222

MARCO BASE M222 - PROCESSAMENTO IBGE-PPP				
COORDENADAS UTM - SIRGAS 2000 ZONA 25S				
NORTE	ESTE	ALT. GEOMÉTRICA	SEPARAÇÃO GEOIDAL	ALTITUDE NORMAL
8919478,833	185652,283	-5,280	-9,260	3,980
0,002	0,007	0,008		DESVIO PADRÃO

Fonte: Autoria própria (2023).

Com as coordenadas da base processadas e corrigidas com a ferramenta IBGE-PPP, damos continuidade ao processamento, agora dessa vez dos dados Rover (coletados via RTK), sendo feito o translado da base para as coordenadas corrigidas e obtidas via processamento PPP. Esse passo foi feito na coletora de dados *GNSS* CHCNav HCE320 no *software LandStar7*, conforme mostra a Figura 12.

Figura 14: Translado de base e correção do *GNSS*-RTK Rover



Fonte: Imagem de autoria própria (2023).

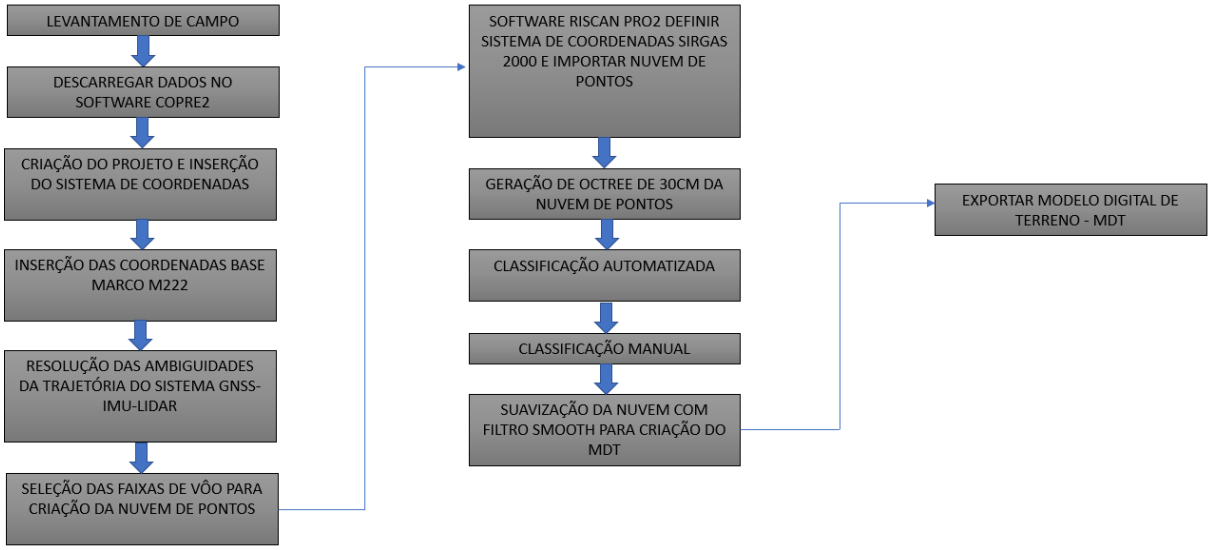
Na coletora de dados foram inseridas as coordenadas da base e corrigido os dados do Rover, esses dados contêm as coordenadas dos pontos de checagem implantados no bordo da rodovia.

3.3.2 *LIDAR*

O *laser scanner* AA450 armazena os dados do *LiDAR*, os dados do sistema inercial IMU, os dados *GNSS* e das imagens capturadas pela câmera acoplada no

laser. Todos esses dados são transferidos para o computador via cabo de dados USB tipo-c, utilizando o *software* CoPre2. O *software*, além de fazer essa transferência de dados, também serve para ser feito o pré-processamento dos dados do conjunto do *laser scanner*.

Figura 15: Fluxograma de processamento de dados *laser scanner LiDAR*

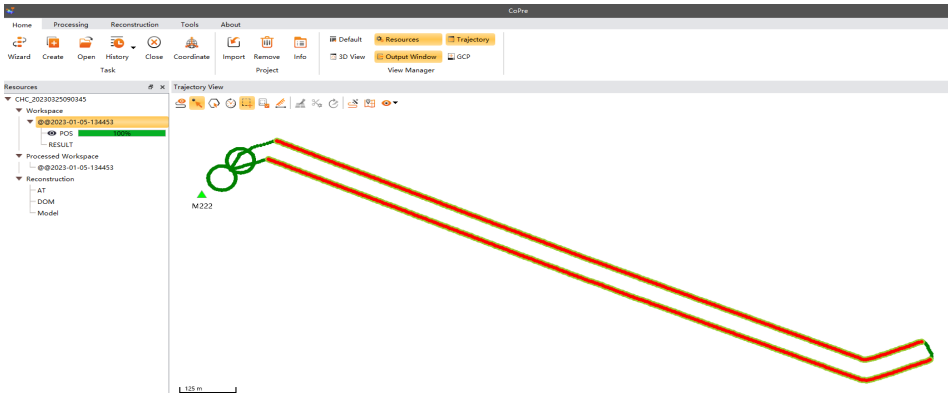


Fonte: Imagem de autoria própria (2023).

No *software* CoPre2, o primeiro passo foi fazer a transferência de dados citada anteriormente. Segundo foi criado o projeto e definido o sistema de coordenadas do trabalho - o sistema adotado foi o SIRGAS2000 e projeção UTM ZONA 25s - pois o local do levantamento encontra-se no fuso 25 Sul. Em seguida foi inserido as coordenadas da base, o marco M222 e gerado o *POSt*. A resolução da trajetória do ARP com o Laser Scanner embarcado.

Após a resolução da trajetória, foi feito a seleção das faixas de voo e o processamento e geração da nuvem de pontos e exportada no formato *.las* versão 1.2, para que seja feito a classificação da nuvem de pontos e seja feito a obtenção dos dados topográficos.

Figura 16: Trajetória do drone pós processada e seleção das faixas de vôo



Fonte: Imagem de autoria própria (2023).

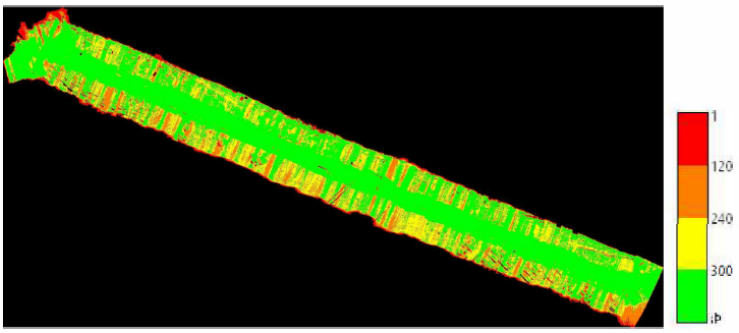
Com a nuvem de pontos pronta, foi feito uma análise de densidade de pontos por metro quadrado e da qualidade da nuvem no software CoProcess2 e gerado um relatório que pode ser visto na Figura 16. Com isso podemos ver que o Laser Scanner *LiDAR* AA450 é um equipamento de alta precisão e gerou uma nuvem de pontos de alta densidade, tendo obtido uma densidade média de 380 pts/m². No gráfico temos um mapa de cor onde mostra os intervalos de densidade para cada região da nuvem de pontos.

Figura 17: Relatório de qualidade da nuvem de pontos bruta

Density Quality Analysis

File Name	Point Number	Cover Area(©O)	Minimum Density(points/©O)	Maximum Density(points/©O)	Average Density(points/©O)
NUVEM BRUTA - VOO MARECHAL	87853133	231101.000	1.000	3173.000	380.150

Density Images



Fonte: Imagem de autoria própria (2023).

O passo a seguir é a classificação e filtragem para a geração da superfície topográfica do local. Para isso foi utilizado o *Software Riscan Pro 2*. Foi criado o projeto e definido o sistema de coordenadas a partir dos dados do levantamento. Em seguida, importado a nuvem de pontos bruta, com cerca de 87 milhões de pontos (Figura 17). Para facilitar o trabalho de filtragem, foi gerado um *octree*, na qual é feita uma amostragem da nuvem de pontos, para que ela seja recriada com menos pontos e consequentemente mais leve, foi utilizado uma amostragem com incremento de 30cm entre os pontos na nuvem. Com a criação do *octree* obtivemos uma nuvem com o total de 41,49 milhões de pontos.

A classificação da nuvem de pontos é feita de duas maneiras no *Riscan PRO2,* primeiro é feito a classificação automatizada, utilizando parâmetros predefinidos no próprio *software*, como também parâmetros definidos com base em estudos realizados no *software*, esses parâmetros são definidos para ser feito cálculo de distância, ângulo e tamanho e altura de objetos na nuvem de pontos. O primeiro foi utilizado o filtro *Vegetation*, posteriormente foi utilizado os filtros *Default, Vegatation2*, por último foi passado o filtro e *Vegetation3*.

Os parâmetros de cada filtro levam em consideração os seguintes fatores descritos nos itens abaixo, os valores dos parâmetros de cada filtro estão descritos no Quadro 4:

Largura máxima do objeto;

- Altura máxima do objeto;
- Tamanho mínimo do objeto: Leva em consideração altura e largura do objeto;
- Inclinação máxima do terreno;
- Raio do objeto

Quadro 4: Parâmetros de cara filtro

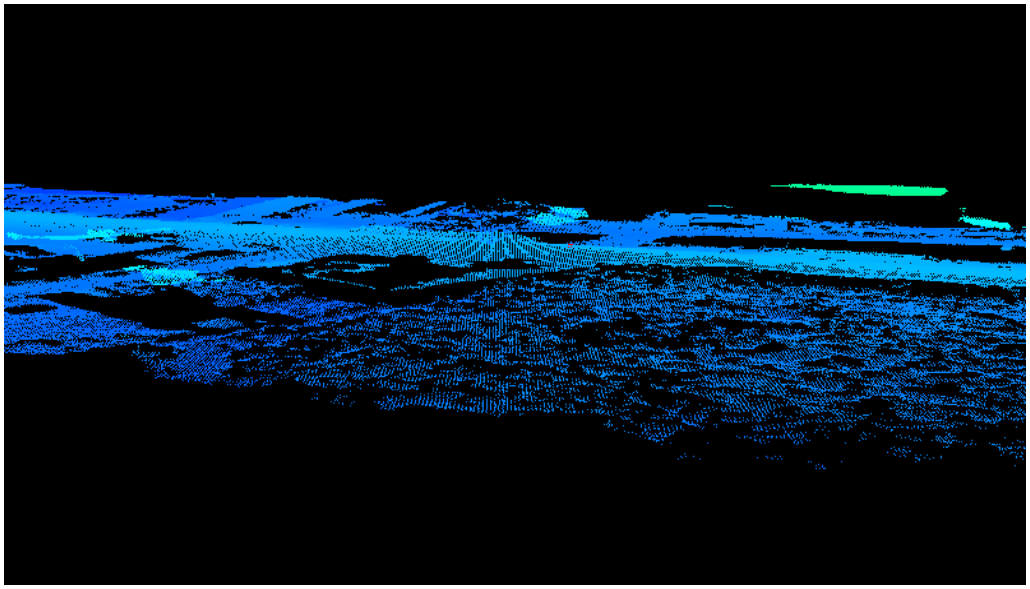
FILTROS *RISCAN PRO2*				
PARAMETROS	VEGETATION	DEFAULT	VEGETATION2	VEGETATION3
LARGURA MÁXIMA DO OBJETO (m)	32	8	2	64
ALTURA MÁXIMA DO OBJETO (m)	22,4	8	2	44,8
ALTURA MÍNIMA DO OBJETO (m)	0,175	1	0,062	0,175
LARGURA MÍNIMA DO OBJETO (m)	0,25	1	0,062	0,25
INCLINAÇÃO MÁXIMA DO TERRENO (°)	60	90	90	90
RAIO DO OBJETO (m)	-	-	-	0,5

Fonte: Imagem de autoria própria (2023).

Feito essa primeira parte da classificação automatizada, seguimos para a classificação manual. A classificação manual consiste em remover manualmente os pontos que restaram e que não foram removidos pelos filtros da classificação automatizada, pois o algoritmo do *software* não foi capaz de identificar e remover os ruídos presentes na nuvem de pontos, ruídos estes que precisam ser removidos manualmente, para que não atrapalhe a superfície topográfica, criando cotas que não existem e poluindo o trabalho.

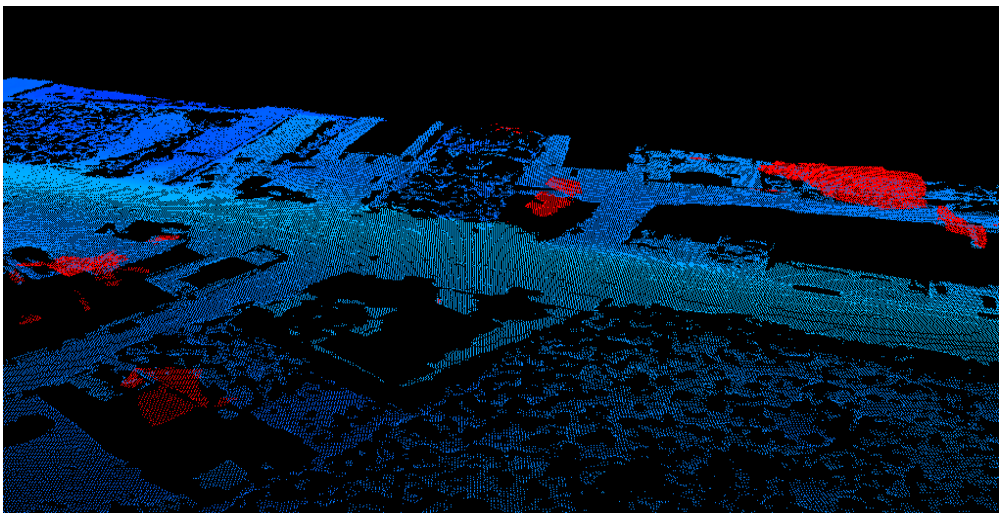
Na Figura 18 pode-se visualizar alguns objetos, como telhados e alguns pontos de ruído que não foram removidos a partir da classificação automatizada, esses pontos são removidos via classificação manual Figura 19.

Figura 18: Objetos não removidos na classificação automatizada



Fonte: Imagem de autoria própria (2023).

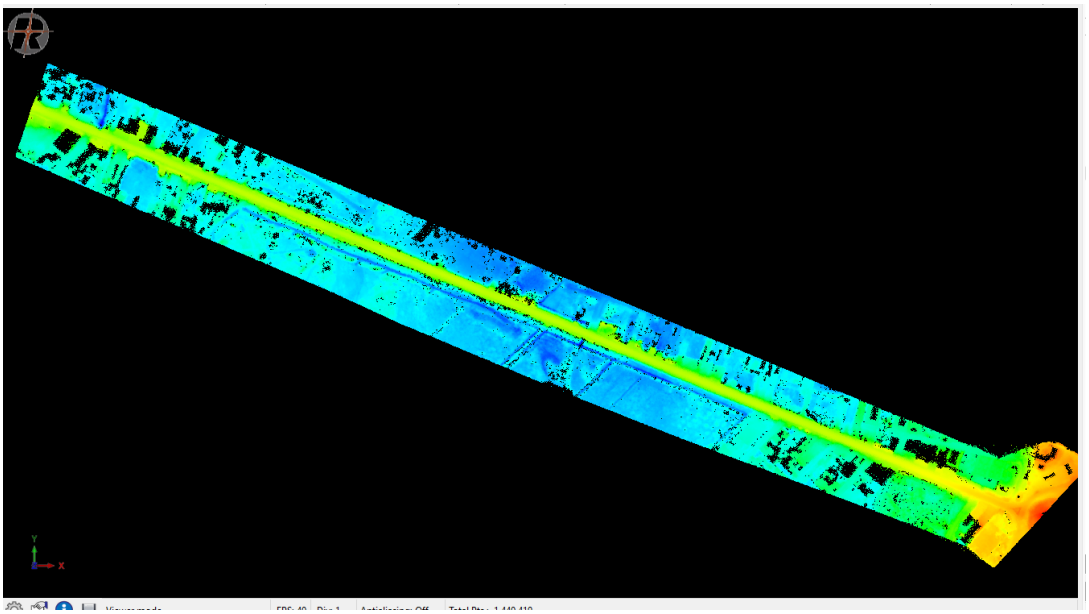
Figura 19: Classificação manual



Fonte: Imagem de autoria própria (2023).

Ao fim da classificação manual e feita a remoção de objetos e ruídos que não fazem parte da superfície topográfica da nuvem, é feito a triangulação da nuvem de pontos. Esse passo consiste em criar triângulos entre os pontos da nuvem para que seja feita a interpolação entre eles, e assim, posteriormente seja feito o filtro de *smoothing,* que utiliza o método laplaciano, esse método consiste em modificar as coordenadas de acordo com uma média de vértices conectados, para reduzir a grande quantidade de informações presentes na geometria da malha de pontos.

Figura 20: Modelo Digital de Terreno

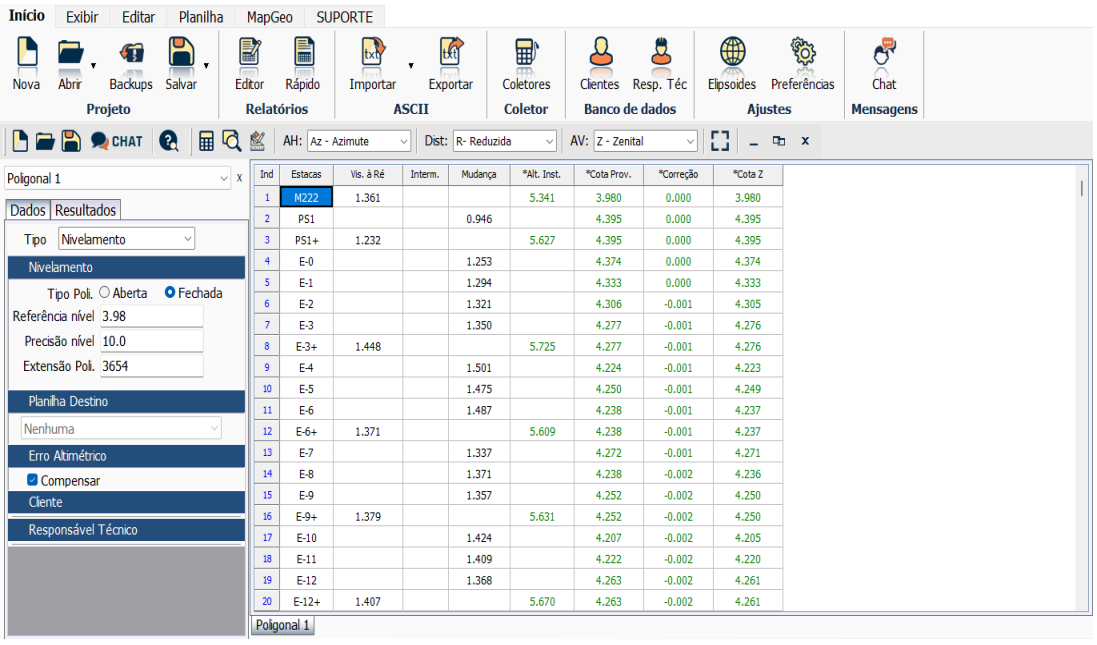


Fonte: Imagem de autoria própria (2023).

3.3.3 Nivelamento geométrico

Para cálculo das cotas e do fechamento da caderneta de campo, foi utilizado o *software Metrica Topo Plan*. Ver na Figura 21.

Figura 21: *Software* métrica para cálculo de caderneta de campo

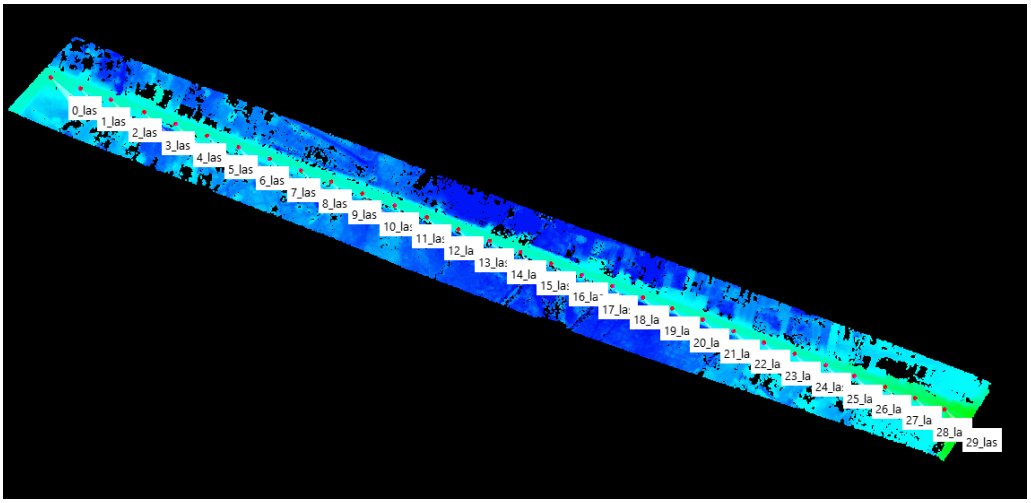


Fonte: Imagem de autoria própria (2023).

3.3.4 Comparação entre Dados Altimétricos *GNSS*, *LIDAR* e Nivelamento Geométrico

Para esse estudo foi utilizado o *software CoProcess2,* nele foi inserido a nuvem de pontos MDT, e os pontos com coordenadas levantados via topografia *GNSS* e os pontos do nivelamento geométrico. O software calcula por meio de interpolação da nuvem de pontos a diferença entre os pontos da nuvem e dos pontos de checagem, gerando uma planilha com as diferenças altimétrica entre os pontos, foi gerado uma planilha comparativa do MDT x Nivelamento geométrico x Levantamento *GNSS*/RTK.

Figura 22: Locação dos pontos de checagem levantados via *GNSS*-RTK e nivelamento geométrico



Fonte: Imagem de autoria própria (2023).

Após isso, foi utilizado o método estatístico para calcular o erro médio e desvio padrão e erro padrão dos pontos levantados por cada metodologia, fazendo um estudo comparativo entre os três e tendo como base de referência o Nivelamento geométrico.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

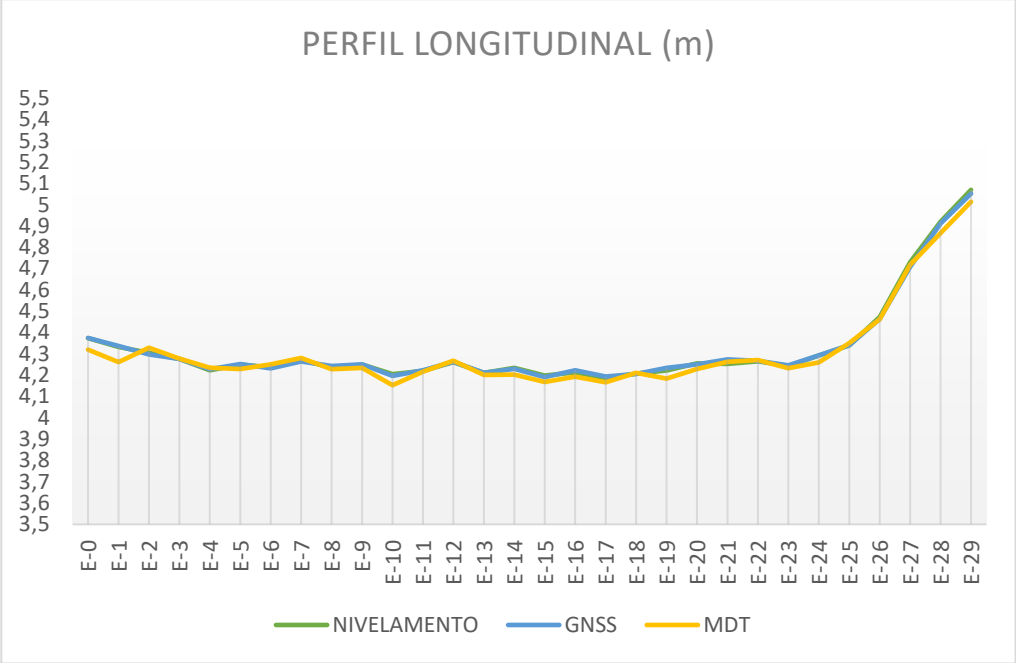
Ao longo de todo o processamento dos dados obtidos por cada metodologia, obtivemos os seguintes dados altimétricos, como podemos ver no quadro 5, bem como no perfil longitudinal na Figura 23.

Quadro 5: Pontos de checagem com altitude normal Z (m) de cada metodologia

PONTO	NORTE	ESTE	Z NIVEL	Z *GNSS*	Z *LIDAR*
E-0	8919599,337	185774,984	4,374	4,375	4,320
E-1	8919581,378	185818,692	4,333	4,337	4,261
E-2	8919563,412	185863,027	4,305	4,297	4,329
E-3	8919543,190	185912,040	4,276	4,276	4,278
E-4	8919524,337	185957,691	4,223	4,228	4,235
E-5	8919505,107	186003,810	4,249	4,252	4,229
E-6	8919486,354	186050,045	4,237	4,232	4,251
E-7	8919467,493	186095,434	4,271	4,264	4,281
E-8	8919448,901	186141,140	4,236	4,243	4,228
E-9	8919430,561	186185,567	4,250	4,251	4,234
E-10	8919411,624	186231,244	4,205	4,197	4,153
E-11	8919392,126	186278,647	4,220	4,223	4,216
E-12	8919373,016	186325,809	4,261	4,263	4,268
E-13	8919353,510	186372,041	4,211	4,211	4,201
E-14	8919334,935	186417,691	4,234	4,230	4,203
E-15	8919316,799	186462,773	4,198	4,191	4,168
E-16	8919298,266	186507,750	4,213	4,223	4,193
E-17	8919279,673	186552,855	4,187	4,194	4,167
E-18	8919261,696	186597,415	4,207	4,206	4,211
E-19	8919242,859	186642,171	4,222	4,234	4,184
E-20	8919225,526	186684,935	4,255	4,251	4,229
E-21	8919207,027	186730,131	4,253	4,274	4,263
E-22	8919188,708	186774,998	4,265	4,267	4,271
E-23	8919170,332	186819,444	4,243	4,246	4,233
E-24	8919151,995	186864,459	4,292	4,293	4,260
E-25	8919133,459	186910,103	4,340	4,341	4,351
E-26	8919115,912	186952,158	4,473	4,464	4,463
E-27	8919098,226	186997,254	4,730	4,708	4,718
E-28	8919080,278	187040,754	4,920	4,912	4,867
E-29	8919061,801	187084,050	5,070	5,052	5,014

Fonte: Imagem de autoria própria (2023).

Figura 23: Perfil Longitudinal



Fonte: Imagem de autoria própria (2023).

Notamos uma leve diferença entre as cotas Z dos pontos, como por exemplo no ponto E-0 obtivemos uma altitude normal z igual a 4,374 metros no nível, 4,375 metros no *GNSS* e 4,320 metros no MDT do *LiDAR*. O quadro 5, contém as diferenças entre todos os pontos de checagem e o erro médio entre cada método de levantamento. A comparação entre os dados obtidos a partir do nivelamento e do *GNSS,* obtivemos uma diferença média de apenas 4 milímetros entre as duas metodologias, isso deve-se basicamente, pois os pontos levantados via *GNSS/RTK* foram coletados com o auxílio de um bipé, esse equipamento dá mais estabilidade ao instrumento, evitando erros grosseiros, porém em um levantamento convencional não utiliza-se esse recurso, pois faz com que o levantamento se torne mais demorado e diminuindo bastante da produtividade, esse recurso foi utilizado nesse trabalho pois os pontos seriam apenas para checagem e não um levantamento cadastral.

Tabela 2: Comparativa entre as diferenças de altitude normal de cada metodologia

DIFERENÇAS ALTIMÉTRICA COTA Z (m)		
NIVEL - *GNSS*	NIVEL - *LIDAR*	*GNSS* - *LIDAR*
0,001	0,054	0,055
0,004	0,072	0,076
0,008	0,024	0,032
0,000	0,002	0,002
0,005	0,012	0,007
0,003	0,020	0,023
0,005	0,014	0,019
0,007	0,010	0,017
0,007	0,008	0,015
0,001	0,016	0,017
0,008	0,052	0,044
0,003	0,004	0,007
0,002	0,007	0,005
0,000	0,010	0,010
0,004	0,031	0,027
0,007	0,030	0,023
0,010	0,020	0,030
0,007	0,020	0,027
0,001	0,004	0,005
0,012	0,038	0,050
0,004	0,026	0,022
0,021	0,010	0,011
0,002	0,006	0,004
0,003	0,010	0,013
0,001	0,032	0,033
0,001	0,011	0,010
0,009	0,010	0,001
0,022	0,012	0,010
0,008	0,053	0,045
0,018	0,056	0,038
0,004	**0,022**	**0,023**

Fonte: Imagem de autoria própria (2023).

Com o cálculo da diferença entre as metodologias apresentadas no quadro 5, obtivemos também o desvio padrão, a variância e erro padrão, erro padrão foi utilizado apenas para comparação entre as cotas do nível (nivelamento geométrico) e do MDT *LiDAR*. Apresentados no quadro 6, todos os valores estão descritos em metros:

Tabela 3: Desvio padrão e variância de cada metodologia

NIVEL X *GNSS*	NIVEL X *LIDAR*	*GNSS* XX *LIDAR*	
0,00579	0,01851	0,01793	**DESVIO PADRÃO**
3,24E-05	0,00033	0,00031	**VARIANCIA**

Fonte: Imagem de autoria própria (2023).

Tabela 4: Tabela com o erro padrão entre as cotas do nivelamento geométrico e MDT *LiDAR*

ERRO PADRÃO NIVEL X *LIDAR*
0,003379

Fonte: Imagem de autoria própria (2023).

Por fim, com os resultados dos cálculos demonstrados nos quadros 5 e 6, chegamos aos resultados desse estudo, calculando o erro médio quadrático *RMSE* e a aplicação do Padrão de Exatidão Cartográfica – PEC-PDC (CLASSE A), seguindo a norma do PEC e utilizando os parâmetros informados pelo fabricante do *Laser Scanner LiDAR* (tabela 8), chegou-se aos seguintes resultados demonstrados na tabela 9.

Tabela 5: parâmetros informados pelo fabricante do *Laser Scanner LiDAR e PEC - PCD*

ACURÁCIA DA NUVEM DE PONTOS SEGUNDO FABRICANTE DO EQUIPAMENTO: 10 cm	
PEC - PCD (CLASSE - A)	ESCALA: 1/1000
NUVEM DE PONTOS *LIDAR*	EQUIDISTANCIA DAS CURVAS DE NIVEL: 1m

Fonte: Imagem de autoria própria (2023).

Tabela 6: Resultados obtidos

COTA Z (m)	
META DE ESTUDO PEC (CLASSE - A)	0,50
META DE ESTUDO ACURÁCIA FABRICANTE	0,10
VALOR DETERMINADO PEC 90%	0,0476
VALOR DO ERRO MÉDIO	0,022

Fonte: Imagem de autoria própria (2023).

Diante disso, pode-se afirmar que o uso do laser scanner para a obtenção de dados topográficos é altamente preciso, confiável e eficiente. Esses números, indubitavelmente, confirmam a altíssima precisão, confiabilidade e eficiência do laser scanner quando empregado em projetos de infraestrutura. Contudo, é essencial

ressaltar que essa excelência só é alcançada quando a metodologia adequada é rigorosamente aplicada na coleta e processamento dos dados. Os resultados deste estudo indicam que essa tecnologia permite uma rápida e precisa realização de levantamentos topográficos e modelagens tridimensionais.

Ao agilizar a coleta de dados e a geração de modelos tridimensionais precisos, o laser scanner contribui consideravelmente para a redução do tempo necessário para a execução de um projeto, bem como para a otimização dos recursos financeiros envolvidos. A possibilidade de obter informações detalhadas de forma ágil e precisa, possibilita uma tomada de decisão mais embasada, evitando erros e retrabalhos custosos. Além disso, a disponibilidade desses dados em formato tridimensional facilita a comunicação entre os diversos envolvidos no projeto, como arquitetos, engenheiros e construtores, permitindo uma melhor compreensão e visualização das soluções propostas.

Em suma, os resultados obtidos nesse estudo transcendem as expectativas iniciais, validando a alta precisão do laser scanner em projetos de infraestrutura. Com a aplicação adequada de metodologias confiáveis, essa tecnologia se mostra uma ferramenta indispensável para a obtenção de dados geoespaciais precisos e a geração de modelos tridimensionais rápidos e detalhados. A adoção do laser scanner contribui não apenas para a qualidade e a eficiência dos projetos, mas também para a redução de tempo e custos envolvidos, impulsionando a inovação e o desenvolvimento no setor da construção civil.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos nesse estudo superaram as expectativas, tendo em vista que o fabricante do equipamento utilizado garante uma variação de até 10 centímetros, enquanto o erro máximo observado foi de apenas 5,5 centímetros, com uma média de erro de 2,2 centímetros. Além da alta precisão do equipamento, a habilidade e experiência do responsável pelo processamento, limpeza e filtragem da nuvem de pontos são extremamente importantes para a geração do Modelo Digital de Terreno (MDT). Durante a aplicação dos algoritmos de limpeza automatizada, é

necessário analisar cuidadosamente os pontos selecionados, verificando se eles são realmente sujeira que deve ser removida ou se representam a verdadeira topografia do terreno. Isso evita a remoção incorreta de pontos importantes e a presença de pontos sujos que distorcem a superfície topográfica, comprometendo a representação precisa da realidade do local.

A importância da Topografia é evidenciada considerando que a base de qualquer e todo projeto e de obras realizadas por engenheiros ou arquitetos se desenvolvem em função do terreno sobre o qual se assentam. Sua relevância está presente desde os trabalhos executados em núcleos habitacionais, edifícios, aeroportos, hidrografia, usinas hidrelétricas, esgoto, paisagismo, planejamento, urbanismo, cultura e reflorestamentos.

Portanto, é imprescindível que se faça conhecido de maneira minuciosa o terreno sobre o qual será trabalhado, tanto na etapa do projeto, quanto da sua construção ou execução, utilizando os métodos e os instrumentos fornecidos pela topografia que possibilitam a identificação do terreno e asseguram uma correta implantação da obra ou serviço.

Em conclusão, o uso do *Laser Scanner* embarcado em drone se mostrou altamente preciso e acurado para a obtenção de dados topográficos para projetos de infraestrutura, com a vantagem de fornecer uma ampla gama de informações úteis para a vetorização de feições e objetos presentes na área de estudo, bem como para a obtenção de dados altimétricos de alta qualidade. Além disso, essa tecnologia representa um avanço significativo em relação às técnicas de coleta de dados convencionais, visto que, possibilita uma cobertura de áreas maiores em menor tempo, sem comprometer a qualidade dos dados coletados.

Dessa forma, o *Laser Scanner* embarcado em drone se apresenta como uma ferramenta essencial para projetos de infraestrutura, tais como saneamento, drenagem e redes de água, oferecendo um alto nível de precisão, acurácia e qualidade dos dados coletados. A utilização dessa tecnologia pode contribuir para a otimização de projetos, redução de custos e aumento da segurança na realização de trabalhos em campo.

Portanto, é fundamental que as empresas e profissionais envolvidos em projetos de infraestrutura considerem a utilização do *Laser Scanner* embarcado em drone como uma opção viável e eficiente para a coleta de dados geoespaciais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT–Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 13133- Execução de levantamento topográfico**. Rio de Janeiro, 2021.

ANAC- Agência Nacional de Aviação Civil. **Orientações para Usuários de Drones**. 1ª Edição, 2017.

AZEVEDO, P.R.M. **Introdução à estatística**. 3. ed. EDUFRN. Natal, 2016.

BALLESTEROS, R. ET ALL**. Applications of georeferenced high-resolution images obtained with unmanned aerial vehicles.** Part I: Description of image acquisition and processing. 2014.

BRANDALIZE, A.A. **Perfilamento a LASER: Comparação com Métodos Fotogramétricos.** ESTEIO Engenharia e Aerolevantamentos S.A. Curitiba, 2002.

BRANDALIZE, M. C. B. **Topografia**. Paraná: PUC/PR, 2015.

BRASIL. **Decreto nº 89.817, de 20 de junho de 1984**. Estabelece as Instruções Regulamentadoras da Normas Técnicas de Cartografia Nacional. Brasília, 1984.

CARRILHO, A.C. **Aplicação de técnicas de processamento e análise de imagens para detecção de edificações e vegetação a partir de dados *LiDAR*.** Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho- Programa de Pós-graduação em Ciências Cartográficas. Presidente Prudente, 2016.

CENTENO, J.A.S.; MITISHIBA, E.A. **Laser scanner aerotransportado no estudo de áreas urbanas:** A experiência da UFPR. Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Florianópolis, 2007.

CHAVES, A. A. et al. **Uso de VANTs e processamento digital de imagens para a quantificação de áreas de solo e de vegetação.** Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, João Pessoa, 2015.

DANTAS, B.O. **Aplicação de Geotecnologias (*GNSS*, *LiDAR* e Vant) para estudo de drenagem e sedimentos**. Estudo de caso da bacia de detenção do Guará – DF. Monografia (Curso de Graduação Bacharel em Engenharia Ambiental) - Universidade de Brasília. Distrito Federal, 2019.

DELAZARI, L. S. ***GNSS* muito além do mapeamento**. Revista MundoGEO, 2005.

DIAS, A.C.T.; OLIVEIRA, R.B.; SANTOS, T.N. **Atuação do engenheiro agrimensor no processo de georreferenciamento e certificação de cadastro de imóvel rural:** análise da fazenda serra negra – Betim/MG. Revista Paramétrica, 2022.

FELGUEIRAS, C.A. **Análise sobre modelos digitais de terreno em ambiente de sistemas de informações geográficas**. Divisão de Processamento de Imagens-Instituto de Pesquisas Espaciais. 1999.

FERREIRA, R.S. **Estudo comparativo entre os métodos de levantamento fotogramétrico (VANT) e topográfico (estação total) para cálculo de volume em uma mineração.** Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Engenharia de Agrimensura) - Universidade Federal de Alagoas. Rio Largo, 2019.

GEHLEN, A.K; WERLY, S.D.B. **Aplicação do sistema de varredura laser terrestre no mapeamento da barragem Arroio Duro**. Universidade do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2018.

GILI, J. A.; COROMINAS, J.; RIUS, J. **Using Global Positioning System techniques in landslide monitoring.** Engineering Geology, 2000.

GIONGO, M. et al. ***LiDAR*:** princípios e aplicações florestais. Pesquisa Florestal Brasileira. Colombo, 2010.

IBGE, **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.** Conceitos Gerais- O que é cartografia. 2023.

JACOBS, P. G. **Assessing RTK GPS for a suburban survey practice**. Dissertação de Mestrado, University of Southern Queensland, Faculty of Engineering and Surveying, Queensland, 2005.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do meio ambiente:** uma perspectiva em recursos terrestres. São José dos Campos: Parêntese, 2009.

LAGE, M.O.; et al**. Modelagem de parâmetros de um vant equipado com *LiDAR* em aplicações de monitoramento de linhas de transmissão de energia elétrica**. Revista Brasileira de Cartografia. 2017.

LONGHITANO, G.A. **VANTs para sensoriamento remoto: aplicabilidade na avaliação de monitoramento de impactos ambientais causados por acidentes com cargas perigosas.** Dissertação (Mestrado Engenharia De Transportes e geoprocessamento). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

MACHADO, M.V.; TOMMASELLI, A.M.G. **Sincronização por pós-processamento de um Sistema de Varredura a LASER embarcado em VANT**. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente, 2018.

MATIAS, G. R. D. M.; GUZATTO, M. P.; SILVEIRA, P. G. **Mapeamento Topográfico Cadastral Por Integração de Imagens Adquiridas com VANT a Técnicas Tradicionais**. Monografia (Instituto de Geociências Instituto de Geociências) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, 2015.

MCCOMARC, J.; SARASUA, W.; DAVIS, W. **Topografia.** LTC. 6 ed. 2017.

MEAGHER, D. **Geometric modeling using octree encoding**. Computer graphics and image processing. 1982.

MENZORI, M.; LAROUCHE, C. **Análise do desempenho de sensor *LiDAR* na medição de desníveis.** Revista de Engenharia e Tecnologia, 2020.

MENZORI, M.; SEGANTINE, P.C.L. **PPP:** uma alternativa rápida, precisa e econômica para o planejamento territorial. Pluris, 2010.

MONTELO, A.C; OLIVE, C.C.R**. Levantamento Planialtimétrico com o uso de drone.** Trabalho de Conclusão de Curso. Engenharia Civil. Uni EVANGÉLICA. Anápolis, 2021.

NAKAO, L.T.H.; KRUEGER, C.P. **Análise dos métodos de posicionamento e dos parâmetros definidores da qualidade de um levantamento batimétrico**. Bull. Geod. Sci, Articles section. Curitiba, 2017.

OLIVEIRA, D.R. et al. **Geração de modelo digital do terreno a partir de imagens obtidas por veículo aéreo não tripulado.** Revista Brasileira de Cartografia. Edição de Fotogrametia e Sensoriamento Remoto, 2017.

PACHECO, A. P; et al. **Classificação de pontos *LIDAR* para a geração do MDT**. Boletim de Ciencias Geodesicas, 2011.

PAES, A.T. **Por dentro da estatística**. Einstein: Educ Contin Saúde. 2008.

SILVA, B.F. **Estudo comparativo de *GNSS* e Estação Total no levantamento Topográfico**. Monografia (Curso de Graduação Bacharel em Engenharia Civil) - Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2017.

SILVA, E.A.; SILVA, R.L.B. **Estudo de drenagem de vias utilizando comparativos entre nivelamento geométrico e levantamento *GNSS***. Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2019.

SILVA, I.; SEGANTINE, P. C. L. **Topografia para Engenharia:** teoria e prática de geomática. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015.

SILVA, L.R; SILVA, R.O.A. **Acurácia e precisão:** análise estatística de levantamentos topográficos com *vant* e *scanner.* Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Graduação Bacharel em Engenharia Civil) - Faculdade Evangélica de Goianésia. Goiás, 2018.

VEIGA, L.A.K. **Noções de Topografia Subterrânea**. Levantamentos Topográfico. Engenharia Cartográfica e de Agrimensura. Universidade Federal do Paraná. 2007;

VEIGA, L.A.K; ZANETTI, M.A.Z; FAGGION, P.L. **Fundamentos de Topografia**. Engenharia Cartográfica e de Agrimensura. Universidade Federal do Paraná. 2012.

WAGNER, W.; et al. **From single-pulse to fullwaveform airborne laser scanners: potential and practical challenges**. In: ISPRS Congress. Geo-Imagery Bridging Continents: proceedings (International archives of photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences. Istanbul, 2004.

ZANOTTA, D.C; CAPPELLETTO, E.; MATSUOKA, M.T. **O GPS:** unindo ciência e tecnologia em aulas de física. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 33, n. 2, 2011.