

TÉCNICAS DE LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO: UMA ANÁLISE COMPARATIVA DA AEROFOTOGRAMETRIA E GNSS RTK.

José Maycon Aires dos Santos¹, Paulo Cesar Moura Da Silva², Vinicius Navarro Varela Tinoco³

Resumo: O presente estudo tem como objetivo realizar uma análise comparativa entre técnicas de levantamento topográfico, como o GNSS RTK, e aerolevanteamento com drones. A análise foca em aspectos de precisão e tempo de execução, proporcionando uma visão das vantagens e limitações de cada abordagem. A metodologia aplicada envolveu a execução de ambos os métodos sobre uma área de estudo, permitindo uma avaliação detalhada das suas performances. O levantamento com RTK destacou-se pela alta precisão em medições pontuais, sendo particularmente eficaz em áreas acessíveis e onde a precisão é crucial. Este método, no entanto, pode ser mais demorado e exigir maior esforço de campo, especialmente em terrenos difíceis. Por outro lado, a aerofotogrametria com drones mostrou-se altamente eficiente para mapeamentos de grandes áreas, especialmente em locais de difícil acesso. Este método requer menos tempo e mão de obra, permitindo a coleta rápida de dados geoespaciais com uma precisão aceitável para muitas aplicações. A capacidade dos drones de sobrevoar áreas inacessíveis ao solo torna esta técnica extremamente útil em diversos cenários, como em levantamentos ambientais e urbanos. Os resultados do estudo sugerem que a integração dessas tecnologias pode ser a solução mais eficaz, dependendo das exigências específicas de cada projeto. A combinação do RTK para medições de alta precisão em pontos críticos e a aerofotogrametria para o mapeamento rápido pode proporcionar um equilíbrio ideal entre precisão e eficiência. Este estudo evidencia o impacto significativo das inovações tecnológicas no campo da topografia, proporcionando maior agilidade e precisão nos processos de coleta de dados.

Palavras-chave: Levantamento topográfico; GNSS RTK; Aerofotogrametria; ARP's; Geoprocessamento.

1. INTRODUÇÃO

A topografia deriva das palavras “*topos*” e “*graphen*”, que significar lugar e descrição, respectivamente, é a ciência dedicada a medição e representação das características físicas da superfície terrestre, desempenha um papel crucial em diversas áreas, como engenharia, arquitetura e planejamento urbano [1]. A precisão das informações topográficas é essencial para a construção de infraestruturas, monitoramento ambiental, agricultura de precisão, entre outras aplicações.

Com o desenvolvimento das civilizações, surgiu a necessidade de demarcar áreas, o que levou ao surgimento da topografia, que tem suas raízes no Egito Antigo [2]. Com o passar do tempo e a modernização das tecnologias, novos equipamentos foram introduzidos, como o teodolito e a estação total. Na qual, estes equipamentos possuem o mesmo objetivo, medição de posição, onde a medição é executada de diferentes formas, no teodolito através de uma régua e medido de forma mais manual, enquanto a estação total excuta por meio de laser e um prisma, tornando o processo mais rápido [3]. Com o passar dos anos, os métodos de levantamento topográfico evoluíram, acompanhando o avanço tecnológico e oferecendo novas ferramentas que proporcionam maior precisão, agilidade e segurança nas medições.

As técnicas de topografia tradicional têm como objetivo fornecer informações precisas sobre um terreno, sendo eficazes em áreas abertas e adaptáveis para uso em locais cobertos ou subsolos, como a planimetria e altimetria realizadas com teodolitos, níveis ópticos e estações totais, sempre foram considerados padrões de alta precisão. No entanto, esses métodos, embora precisos, exigem um esforço considerável em termos de tempo e mão de obra, além de estarem limitados pelas condições do terreno e pela acessibilidade da área a ser levantada. Essas limitações impulsionaram o desenvolvimento e a adoção de novas tecnologias, como a aerofotogrametria e o GNSS (*Global Navigation Satellite Systems*), que, ao serem usados juntamente com os drones, revolucionaram a maneira como os levantamentos topográficos são realizados [4].

Essas inovações tecnológicas, trouxeram uma nova fase para a topografia, onde a precisão e a eficiência são aprimoradas consideravelmente. Um dos avanços mais notáveis nesse contexto é a utilização de sistemas GNSS, que têm desempenhado um papel crucial em várias aplicações além da navegação, como o monitoramento de estruturas e a agricultura de precisão. [5] destacam que a integração dos diferentes sistemas GNSS, como GPS, GLONASS, Galileo e BDS, melhora significativamente a precisão do posicionamento, aumentando a disponibilidade de satélites e otimizando a geometria entre os receptores e os satélites. Essa inclusão facilita a resolução de ambiguidades e contribui para levantamentos topográficos de alta precisão.

Os receptores GNSS são projetados para receber e transmitir informações derivadas das leituras das

constelações de satélites em órbita. Essas leituras são convertidas em coordenadas cartográficas por meio da triangulação dos sinais entre os receptores e os satélites. Os receptores *GNSS* podem operar por dois métodos principais: o *RTK* (*Real Time Kinematic*) e o método pós-processado. O *RTK* é um método de posicionamento relativo que utiliza dois ou mais receptores *GNSS* que se comunicam via sinal de rádio. Nesse método, um receptor base é instalado em um ponto com coordenadas conhecidas ou desconhecidas e realiza leituras em tempo real, fornecendo correções imediatas às observações através de um receptor móvel [6].

A aerofotogrametria, técnica que permite a obtenção de imagens aéreas detalhadas do terreno, quando associada ao processamento digital dessas imagens, possibilita a geração de MDS (Modelos Digitais de Superfície) e MDT (Modelo Digital de Terreno) com alta acurácia. O uso de drones, por sua vez, proporciona uma flexibilidade e eficiência incomparáveis, permitindo o mapeamento de áreas extensas em um curto período, além de acessar locais de difícil alcance para métodos terrestres. Quando combinadas com dados *GNSS*, essas tecnologias oferecem uma precisão geoespacial que rivaliza com os métodos tradicionais, porém com uma redução significativa no tempo de coleta de dados e nos custos operacionais [7].

Outro conceito do aerolevantamento é o *GSD* (*Ground Sample Distance*), que se refere ao tamanho de cada pixel representado nas imagens capturadas durante o levantamento, indicando a área do terreno que cada pixel representa [8].

Diante desse cenário, o presente estudo propõe uma análise comparativa entre as técnicas de levantamento topográfico, com o objetivo de avaliar suas respectivas vantagens, limitações e aplicabilidades. Além disso, a análise abordará aspectos como a acurácia dos dados, o tempo de execução dos levantamentos e as condições operacionais que podem influenciar a escolha da metodologia a ser adotada.

2. METODOLOGIA

A metodologia adotada para este estudo envolveu a execução de dois métodos distintos de levantamento topográfico: o *GNSS RTK* e a aerofotogrametria com o drone. Ambos os métodos foram aplicados na mesma área de estudo, um trecho da Avenida Francisco Mota, em Mossoró-RN, com o objetivo de comparar suas eficiências em termos de precisão, tempo de execução.

2.1. Área de estudo

A área de estudo (Figura 1) apresenta um relevo relativamente plano, com algumas variações altimétricas, facilitando a aplicação dos métodos de levantamento topográfico. A Avenida Francisco Mota está localizada em uma zona urbana de Mossoró, uma cidade em crescimento no estado do Rio Grande do Norte, que possui uma população estimada em cerca de 300 mil habitantes, sendo a segunda maior cidade do estado. Esta avenida é uma das principais vias da cidade, conectando importantes pontos comerciais e residenciais, além de ser um corredor de transporte público. O clima da região é semiárido, com temperaturas elevadas durante a maior parte do ano e chuvas concentradas em poucos meses.

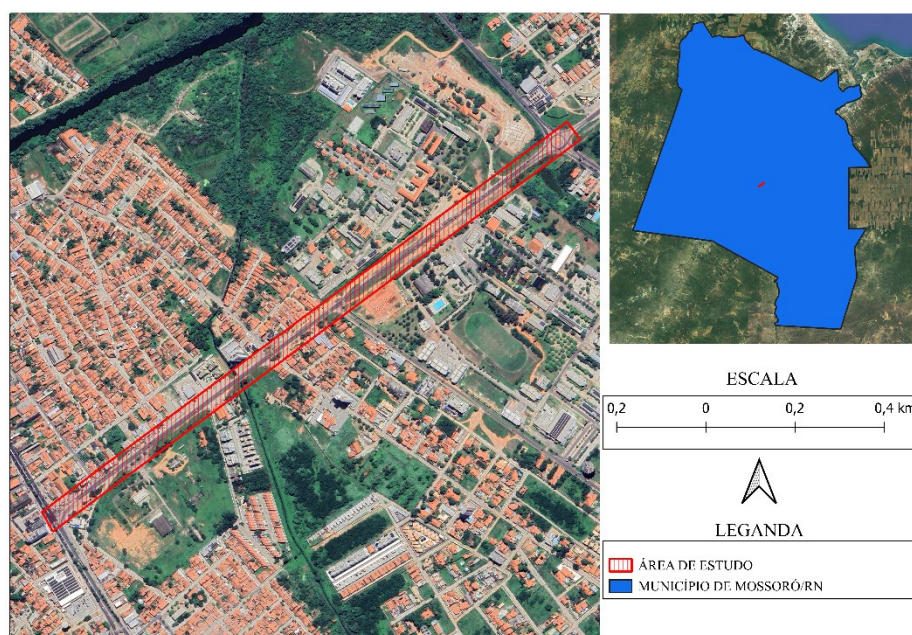


Figura 1 – Área de estudo. Autor (2024).

2.2. Levantamento Planialtimétrico

O levantamento topográfico planialtimétrico foi realizado ao longo do trecho da Avenida Francisco Mota utilizando o receptor *GNSS RTK* modelo *X91+*, um dispositivo amplamente reconhecido por sua precisão e robustez em medições geodésicas [9]. O equipamento permite obter coordenadas com precisão centimétrica em tempo real, essencial para trabalhos de alta exatidão, como o mapeamento detalhado de terrenos e a definição de cotas altimétricas.

O *GNSS RTK* foi cedido pelo projeto Acesso a Terra Urbanizada e funciona através de correções em tempo real, que são transmitidas de uma estação base para o receptor em campo, corrigindo os erros atmosféricos e orbitais. O *X91+*, ao captar sinais de múltiplas constelações de satélites (como *GPS*, *GLONASS*, *BeiDou* e *GALILEO*), garante a coleta de dados mesmo em áreas com cobertura de satélite limitada, proporcionando maior confiabilidade nas medições [10].

2.2.1. Etapas do levantamento

Na primeira etapa, foi instalado um receptor *GNSS* em um ponto de coordenadas conhecidas ao longo do trecho da Avenida Francisco Mota. Este ponto serviu como a base do sistema *RTK*. A base é fundamental, pois ela fornece correções diferenciais em tempo real para o receptor móvel. O receptor base coleta sinais de satélites e compara as coordenadas calculadas com suas coordenadas conhecidas. A diferença encontrada é transmitida ao receptor móvel por meio de rádio ou outra forma de comunicação, permitindo que o receptor móvel ajuste suas coordenadas com precisão centimétrica.

Com a base configurada, um segundo receptor *GNSS*, o receptor móvel, foi deslocado pela área de estudo. O receptor móvel foi levado a pontos estratégicos do terreno para capturar as coordenadas em locais importantes, como mudanças de elevação ou limites de área.

Durante a etapa de aquisição de dados, as coordenadas geodésicas foram obtidas com um planejamento cuidadoso de distâncias entre as coletas. O procedimento seguiu as seguintes diretrizes:

- Distanciamento Máximo de 20 metros no Sentido da Via: Ao longo do trecho da Avenida Francisco Mota, o receptor móvel foi posicionado em pontos espaçados a cada 20 metros na direção da via. Essa distância foi escolhida para garantir uma cobertura detalhada e contínua da área ao longo da pista, capturando as variações topográficas e características do terreno com precisão adequada [11].
- Distância Máxima de 5 metros Cruzando a Pista: Perpendicularmente à via, a coleta de dados foi realizada com um distanciamento máximo de 5 metros entre cada ponto. Isso assegurou uma amostragem densa e precisa da área transversalmente, permitindo uma representação fiel das variações de elevação e características do terreno.

Com essas distâncias estabelecidas, foi coletado 1803 pontos proporcionando uma cobertura completa e precisa da área, registrando elevações e variações topográficas ao longo do terreno de forma eficaz. A abordagem garantiu que todos os pontos importantes fossem mapeados, resultando em um conjunto de dados rico e detalhado para o processamento e análise subsequentes.



Figura 2 – Pontos do levantamento com o *GNSS RTK X91*. Autor (2024).

Os dados coletados foram processados em software especializado, gerando uma nuvem de pontos. A partir

dessa nuvem, foi possível criar curvas de nível no software QGIS 3.34 e obter perfis detalhados do terreno.

O QGIS que é um software gratuito de código aberto, amplamente utilizado para análise e visualização de dados geoespaciais, que será usado para o processamento dos dados do levantamento planialtimétrico.

2.3. Levantamento Aerofotogramétrico

O levantamento aerofotogramétrico foi realizado utilizando o software *DJI Pilot 2*, que é uma ferramenta avançada para o planejamento e controle de missões com o *DJI Mavic 3E*.

O *DJI Mavic 3E* é equipado com câmeras de alta resolução e sistemas de navegação avançados, que garante a precisão das imagens capturadas. Durante o voo, o drone seguiu um plano de voo predefinido, cobrindo toda a extensão do trecho da Avenida Francisco Mota com sobreposição adequada das imagens para garantir a continuidade e a qualidade dos dados coletados [12].

Além disso, o levantamento foi auxiliado por pontos de controle e pontos de verificação para assegurar a precisão do georreferenciamento.

As altitudes selecionadas foram 60 m, 80 m e 100 m. Diferentes altitudes de voo podem afetar a precisão e a resolução dos dados coletados. Voos mais baixos, como a 60 metros, podem capturar mais detalhes do terreno, resultando em uma maior resolução espacial e precisão altimétrica, o que é crucial para projetos que exigem uma representação detalhada do relevo. Por outro lado, voos a altitudes maiores, cobrem áreas maiores, aumentando a eficiência da operação, embora isso possa comprometer a resolução dos dados. Cada voo foi realizado de acordo com o planejamento, com a ARP (Aeronave Remotamente Pilotada) seguindo as rotas predefinidas e capturando imagens em intervalos programados. A sobreposição das imagens foi baseada nos padrões já utilizados pelo projeto Acesso a Terra Urbanizada (70% vertical e 80% horizontal) [13], o que é essencial para a geração precisa de ortomosaicos e modelos 3D.



Figura 3 – Drone DJI Mavic 3E. Autor (2024).

O levantamento foi realizado, operando de forma autônoma para capturar imagens aéreas georreferenciadas em três altitudes distintas. A janela de voo foi definida entre 09:33 e 13:33 para minimizar a quantidade de sombras, aproveitando a iluminação perpendicular ao solo.

O primeiro voo ocorreu a uma altitude de 60 metros. Com uma *GSD* de 1,61 cm e uma velocidade de 7 m/s, o drone capturou 611 imagens ao longo de 18 minutos e 36 segundos, cobrindo uma área de 150.000 m².

O segundo voo foi realizado a 80 metros de altura, com uma *GSD* de 2,15 cm. Durante este voo, foram capturadas 460 imagens ao longo de 18 minutos e 39 segundos, cobrindo uma área de 195.000 m². A altitude intermediária ofereceu um equilíbrio entre a resolução das imagens e a área coberta, proporcionando uma cobertura mais ampla em comparação ao voo a 60 metros, mas com uma resolução ligeiramente inferior.

O terceiro voo foi realizado a 100 metros, com uma *GSD* de 2,69 cm. Capturando 360 imagens em 18 minutos e 44 segundos, cobrindo uma área de 253.000 m².

O tempo de voo foi mantido no intervalo, pois à medida que a altitude aumenta, também aumentava a área total de voo em cerca de 30%, para minimizar as distorções na área de interesse.

2.3.1 Processamento das Imagens

As imagens foram processadas no software *Agisoft Metashape 1.8.5*, gerando MDE. Foram criados ortomosaicos com sobreposição adequada para garantir precisão no georreferenciamento.

Primeiramente, as imagens foram inseridas e convertidas para o sistema de coordenadas Sirgas 2000 UTM Zona 24S. Em seguida, foi estimando a qualidade das imagens que gera valores que significa a qualidade do desfoque, esse intervalo de valores da qualidade varia geralmente entre 0 e 1.0, onde 0 indica baixa qualidade e 1.0 indica alta qualidade, Imagens com qualidade inferior a 0,65 são removidas para evitar que distorções e imprecisões sejam introduzidas no modelo final. Isso garante que apenas imagens de alta qualidade sejam

utilizadas, melhorando a precisão do georreferenciamento e a consistência dos dados.

Os pontos de controle *RTK* foram importados e as fotos foram alinhadas inicialmente com precisão baixa para realizar o apontamento manual dos pontos de controle e verificação.

As imagens foram então alinhadas novamente com precisão elevada.

Foi realizado uma seleção gradual para eliminar pontos com erro de projeção, incerteza de reconstrução e precisão de projeção, adotando como base na literatura [14]. A seleção gradual é um processo essencial no *Agisoft Metashape* para garantir a qualidade e a precisão dos modelos gerados. Ba

- **Erro de Projeção:** Após o alinhamento das fotos, o software calcula o erro de projeção para cada ponto, que é a diferença entre a posição projetada do ponto e a posição real observada nas imagens. Pontos com altos erros de projeção são selecionados e removidos, pois indicam inconsistências na triangulação dos pontos.
- **Incerteza de Reconstrução:** Este valor mede a precisão com que um ponto foi reconstruído a partir das imagens. Pontos com alta incerteza de reconstrução são menos confiáveis e são removidos para melhorar a qualidade geral do modelo. A incerteza de reconstrução é calculada com base na variação máxima e mínima da posição do ponto, dividindo uma pela outra.
- **Precisão de Projeção:** Este critério avalia a precisão com que os pontos foram projetados nas imagens. Pontos com baixa precisão de projeção são removidos para garantir que apenas pontos bem definidos e precisos sejam mantidos no modelo.

A nuvem densa de pontos foi construída com qualidade elevada. O DEM foi gerado a partir dos dados da malha e o ortomosaico foi construído a partir da superfície gerada no MDE. A seleção gradual é importante porque:

- **Melhoria da Qualidade do Modelo:** Remover pontos com altos erros e incertezas melhora a precisão e a qualidade do modelo final, resultando em ortomosaicos e Modelos Digitais de Elevação (MDE) mais precisos.
- **Redução de Distorções:** Pontos com altos erros de projeção e incerteza de reconstrução podem introduzir distorções no modelo. A remoção desses pontos ajuda a minimizar essas distorções, garantindo um modelo mais fiel à realidade.
- **Eficiência no Processamento:** Ao eliminar pontos problemáticos, o processamento subsequente se torna mais eficiente, reduzindo o tempo necessário para gerar a nuvem densa de pontos e outros produtos derivados.
- **Consistência dos Dados:** Manter apenas pontos de alta qualidade assegura que o modelo final seja consistente e confiável, facilitando a análise e a interpretação dos dados.

A qualidade dos modelos gerados em diferentes alturas foi avaliada, com foco na resolução espacial e na precisão dos dados comparados ao levantamento com *GNSS RTK*.

2.4. Avaliação da Precisão Altimétrica

O EAM mede a diferença média absoluta entre as altitudes obtidas pelo *GNSS X91+* e as altitudes do modelo digital de elevação (MDE).

Erro Absoluto Médio (EAM)

$$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |MDE_{x91} - MDE_{dem}| \quad \text{Equação 1.}$$

O Erro quadrado médio (O EQM), por outro lado, mede a diferença média ao quadrado entre as altitudes do *GNSS X91* e as do MDE, fornecendo uma avaliação da precisão e dispersão dos dados [13].

Erro Quadrático Médio (EQM)

$$\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (MDE_{x91} - MDE_{dem})^2} \quad \text{Equação 2.}$$

3. RESULTADOS E DISCURSÕES

A operação com o *X91+* teve uma duração de 15 horas e 39 minutos, incluindo todas as etapas do processo: desde a instalação da estação base até a coleta dos dados em campo, com o deslocamento do receptor móvel para capturar as coordenadas nos pontos estratégicos do terreno.

Já com o drone em variadas alturas tiveram um tempo total entre levantamento e processamento de 10 horas e 55 minutos para o voo a 60 m, 8 horas e 2 minutos para o voo a 80 m e 6 horas e 36 minutos para o voo a 100 m.

A principal diferença nos ortomosaicos gerados pelo aerolevantamento avaliados está no *GSD*, o que resulta em uma melhoria significativa na visualização e na interpretação dos dados geoespaciais. Quanto maior a resolução da imagem, maior o nível de detalhes que pode ser capturado, permitindo a identificação precisa de feições menores no terreno. Além disso, a qualidade superior facilita a análise detalhada em aplicações como mapeamento de áreas urbanas, levantamentos ambientais e monitoramento de infraestruturas, oferecendo uma

base mais confiável para tomadas de decisão em projetos de engenharia, planejamento urbano e estudos ambientais [15]. Na figura 4, pode-se ver os ortomosaicos obtidos pelos aerolevantamentos e na figura 5 é possível ver a diferença da qualidade.

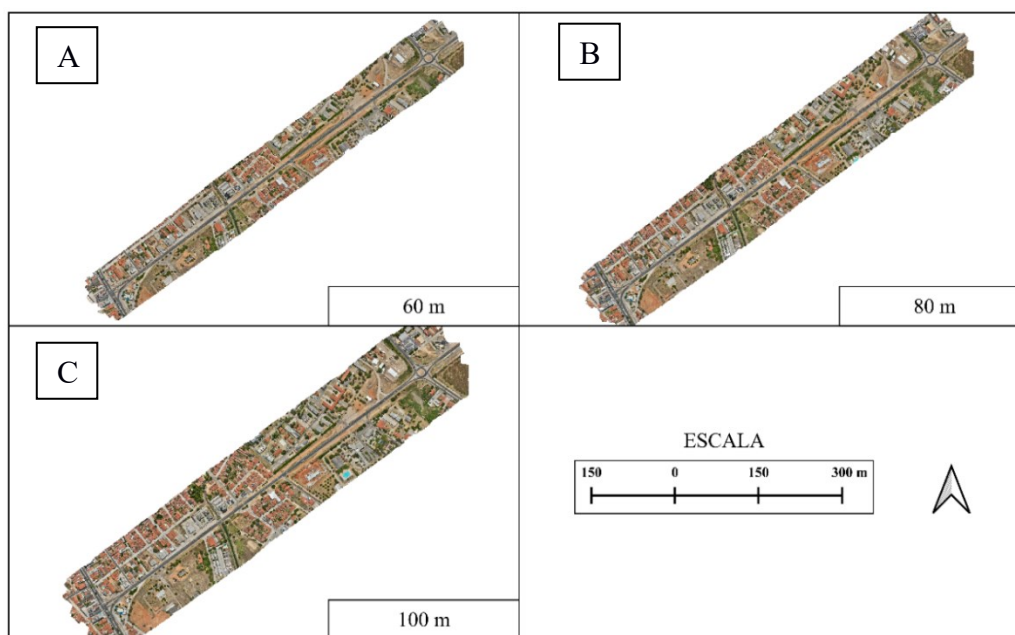


Figura 4 – Ortomosaicos obtidos em diferentes alturas: (A) 60 m, (B) 80 m e (C) 100 m. Autor (2024).

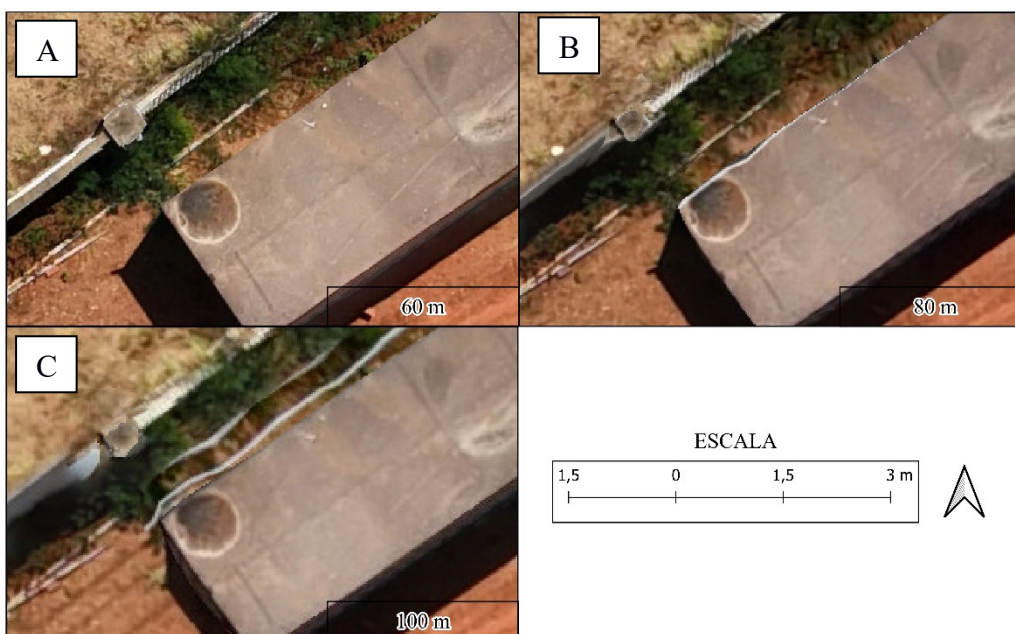


Figura 5 – Diferença dos ortomosaicos diferentes alturas: (A) 60 m, (B) 80 m e (C) 100 m. Autor (2024).

Este MDE, produzido a partir dos pontos coletados utilizando o receptor *GNSS RTK X91+*, apresenta uma resolução reduzida quando comparado a ortofoto, resultado da baixa densidade de pontos adquiridos durante o levantamento. A quantidade limitada de pontos impacta diretamente a qualidade do modelo, resultando em uma representação menos detalhada do terreno. Isso ocorre pois cada ponto representa uma amostra do terreno. Quando há poucos pontos, o modelo tem menos informações para criar uma representação detalhada. Isso resulta em uma superfície mais suave e mais imprecisa e com menos detalhes das variações do terreno.

Esse fator é particularmente relevante em áreas com variações topográficas mais acentuadas, onde uma maior densidade de pontos seria necessária para capturar com maior precisão as elevações e depressões do relevo. Em áreas com terrenos irregulares e complexos, a baixa densidade de pontos pode levar a uma interpretação imprecisa do relevo, dificultando a identificação de características topográficas importantes.

A Figura 4, a seguir apresenta o MDE produzido a partir de interpolação dos dados coletados.

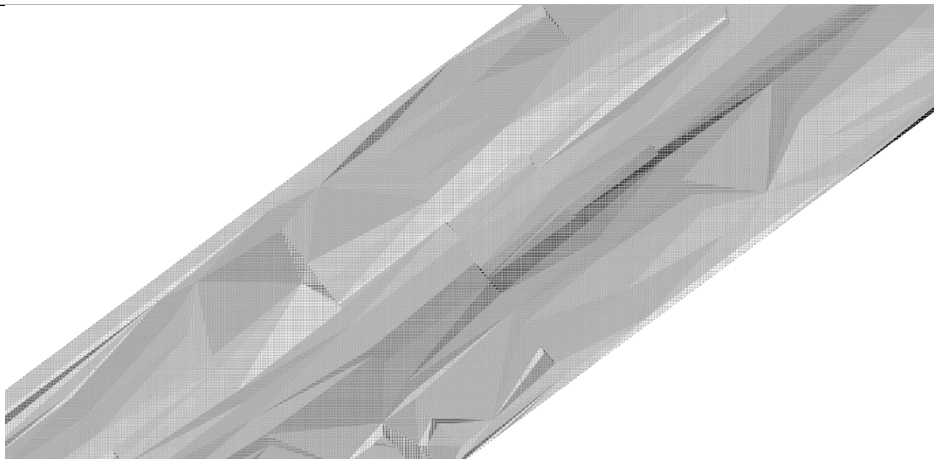


Figura 6 – MDE feito por interpolação triangular no QGIS 3.34. Autor (2024).

Os modelos digitais gerados pela aeronave em altitudes de voo de 100 m (figura 5), 80 m (figura 6) e 60 m (figura 7) demonstram uma fidelidade superior na representação do terreno após a correção espacial realizada, com destaque especial para o modelo obtido a 60 m de altura. A proximidade dos sensores contidos na ARP em relação ao solo, neste nível de altitude, permite capturar as nuances e variações do relevo de maneira mais precisa, evidenciando detalhes que podem passar despercebidos em alturas maiores.

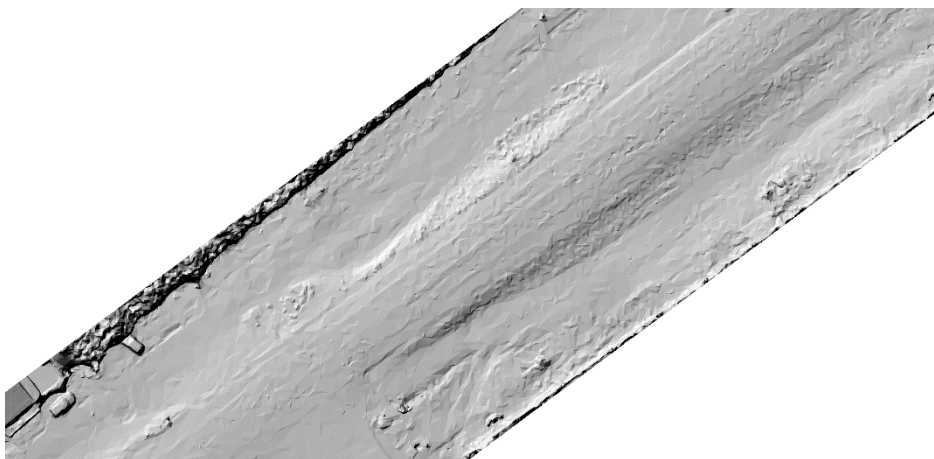


Figura 7 – MDE 100 m. Autor (2024).

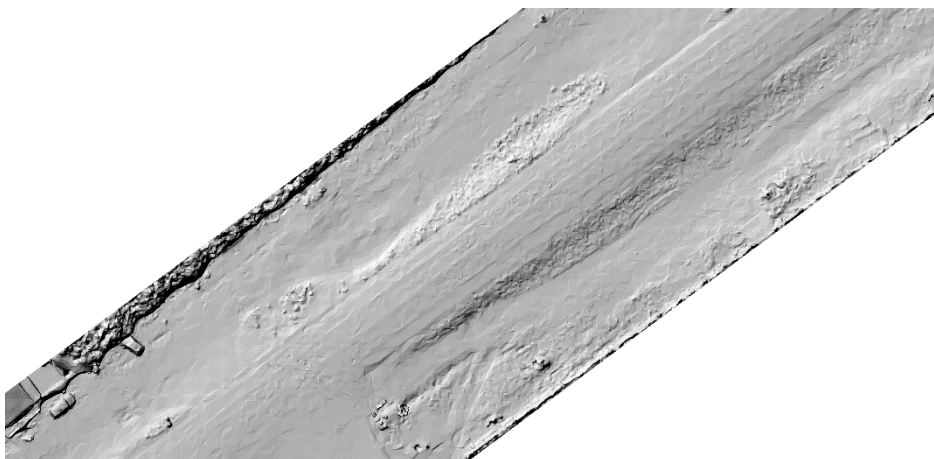


Figura 8 – MDE 80 m. Autor (2024).

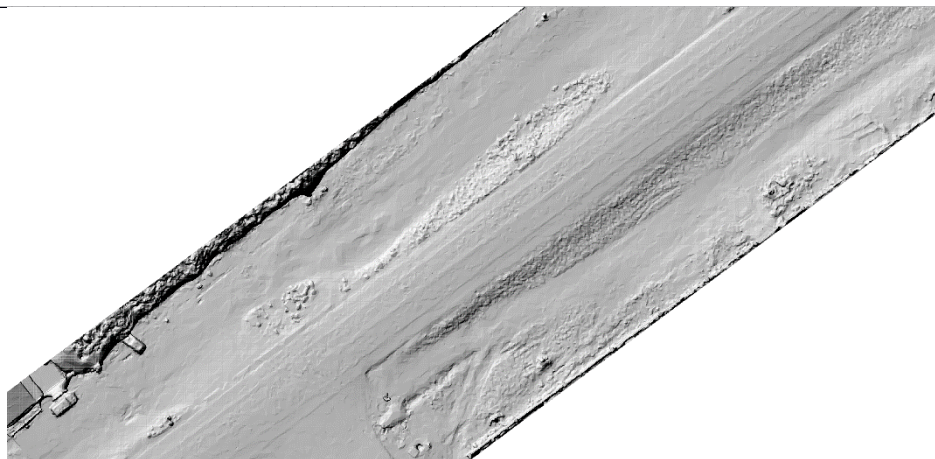


Figura 9 – MDE 60 m. Autor (2024).

A maior densidade de pontos coletados durante o voo a 60 m resulta em uma resolução mais elevada, permitindo a visualização mais clara de características topográficas, como elevações, depressões e contornos do terreno. Essa qualidade superior é crucial para aplicações que exigem um entendimento detalhado do relevo, como planejamento urbano, gestão ambiental e análises geoespaciais. Assim, os dados coletados a essa altitude se mostram particularmente valiosos para uma análise aprofundada e para a tomada de decisões informadas em projetos que envolvem o uso do solo e a preservação ambiental.

Na comparação entre os dados altimétricos coletados em campo com o *GNSS X91+* e os aferidos nos modelos digitais de elevação (MDE), é essencial analisar dois principais erros: o Erro Absoluto Médio (EAM) e o Erro Quadrático Médio (EQM).

No estudo, foram analisados 15 pontos de cada MDE (60 m, 80 m e 100 m) e comparados com os dados do *GNSS X91+*. Os resultados foram:

Quadro 1 – Quadro com EQM e EAM. Autor (2024).

Erro Quadrático Médio (EQM)	
MDE de 60 m	0,1278
MDE de 80 m	0,1350
MDE de 100 m	0,131
Erro Absoluto Médio (EAM)	
MDE de 60 m	0,1067
MDE de 80 m	0,1087
MDE de 100 m	0,1007

Os Modelos Digitais de Elevação (MDEs) foram avaliados quantitativa e qualitativamente, utilizando pontos de controle obtidos com *GPS* de alta precisão. A qualidade dos MDEs foi medida através do erro quadrático médio (EQM), e comparações entre diferentes MDEs foram realizadas utilizando ferramentas de análise espacial. Os resultados indicam que tanto o erro absoluto médio (EAM) quanto o EQM estão dentro dos padrões geralmente aceitos na literatura para levantamentos topográficos [16], garantindo que os valores altimétricos dos MDEs são precisos e confiáveis. O EQM reflete a média das variações ao quadrado, destacando a precisão dos dados coletados [16].

No Brasil, os MDEs são frequentemente produzidos pelos próprios usuários, o que pode levar a limitações significativas como fonte de informação espacial. A avaliação dos MDEs incluiu a determinação do EQM da elevação, análise das depressões espúrias (Uma célula rodeada por outras com valores de elevação superiores), comparação entre drenagem mapeada e drenagem numérica, curvas de nível derivadas e originais, e análise das bacias de contribuição derivadas. Valores menores de EQM indicam menor dispersão e maior precisão. Já o EAM fornece a média das variações absolutas, mostrando a diferença média real entre os dados coletados e os aferidos nos MDEs. Esses indicadores são fundamentais para validar a qualidade dos MDEs e garantir que eles possam ser usados com confiança em projetos de engenharia, planejamento urbano e outros estudos ambientais [16].

Embora não exista uma normativa específica do DNIT que trate exclusivamente da aerofotogrametria para rodovias, a precisão e a consistência dos dados altimétricos continuam sendo essenciais. Padrões rigorosos de qualidade para a avaliação de dados altimétricos em levantamentos topográficos são importantes para assegurar que os erros estejam dentro de limites aceitáveis para aplicações práticas.

Manter consistência e confiabilidade nos dados utilizados em obras de infraestrutura, como a construção de estradas, pontes e sistemas de drenagem, é crucial para evitar problemas estruturais e garantir a segurança das construções.

Essa comparação visa identificar as principais vantagens e desvantagens de cada técnica em diferentes cenários topográficos, fornecendo uma base sólida para decisões futuras em levantamentos de áreas urbanas ou rurais. Por exemplo, a técnica *GNSS RTK* é conhecida por sua alta precisão em medições ponto a ponto, sendo especialmente útil em áreas urbanas densamente construídas, onde a precisão milimétrica é crucial. Por outro lado, a aerofotogrametria com drones oferece uma visão mais ampla e detalhada do terreno, sendo ideal para levantamentos em áreas rurais ou de difícil acesso.

Além dos aspectos técnicos, é importante considerar os custos operacionais e o tempo de execução de cada método. A técnica *GNSS RTK*, embora altamente precisa, pode ser mais demorada e custosa devido à necessidade de equipamentos específicos e mão de obra especializada. Já a aerofotogrametria com drones, apesar de demandar um investimento inicial em equipamentos, tende a ser mais eficiente em termos de tempo, permitindo a cobertura de grandes áreas em menos tempo.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em resumo, ao comparar a eficiência dos métodos de levantamento, os aerolevantamentos realizados com drones mostraram-se significativamente mais rápidos do que os realizados com o *GNSS RTK X91+*. Para determinar a melhor altura de voo na produção de modelos digitais de elevação (MDE) para curvas de nível e perfis de pista, é essencial considerar a precisão e a resolução desejadas, as características do terreno e os objetivos específicos do estudo.

Os dados indicam que o MDE obtido a 60 metros de altura apresenta o menor erro absoluto médio (EAM), sugerindo maior precisão na representação altimétrica. Embora o MDE a 100 metros tenha um EAM ligeiramente menor, o EQM do MDE a 60 metros é mais favorável, refletindo menor dispersão dos dados. Portanto, a altura de voo de 60 metros é geralmente a mais indicada para produzir um DEM com alta precisão, capturando detalhes finos do terreno e facilitando a identificação de pequenas feições e variações topográficas.

Além disso, a viabilidade prática e logística de operar voos a 60 metros deve ser considerada. Embora voos mais baixos possam demandar mais tempo e recursos, os benefícios em termos de precisão e qualidade dos dados justificam esses esforços adicionais, especialmente em projetos que exigem um alto nível de detalhe e acurácia. Condições ambientais como vento, luz solar e interferências atmosféricas também devem ser levadas em conta, pois podem impactar a qualidade dos dados coletados.

Em síntese, a altura de voo de 60 metros é recomendada para a geração de modelos digitais de elevação com alta precisão, especialmente em projetos que demandam uma representação detalhada do relevo, como planejamento urbano, engenharia e gestão ambiental. Essa escolha permite uma captação precisa das variações topográficas, facilitando a análise e interpretação dos dados e contribuindo para decisões mais informadas e seguras.

5. REFERENCIAS

- [1] BAITELLI, R. Topografia I. [s.l.]: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2021.
- [2] Instituto de Geociências – Histórico da Topografia. Disponível em: <<http://museudetopografia.ufrgs.br/museudetopografia/index.php/historico-da-topografia>>. Acesso em: 6 out. 2024.
- [3] SILVA, B. F. Estudo comparativo de GNSS e estação total no levantamento topográfico. João Pessoa: Universidade Federal da Paraíba, 2017.
- [4] SOUZA, D. J. DA S. et al. Levantamentos topográficos utilizando drones e GNSS. [s.l.]: [s.n.].
- [5] JÚNIOR, P. DE T. S. et al. Multi-GNSS positioning. Revista Brasileira de Cartografia, v. 72, p. 1225–1249, 2020.
- [6] MELLO, C. C. DE S. Aerofotogrametria com VANT: Aplicações no monitoramento operacional de aterros sanitários. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2020.
- [7] OTAKE, V. S. Produtos cartográficos gerados a partir de drones e aplicações na agricultura. Maringá: Centro Universitário de Maringá, 9 nov. 2017.
- [8] GSD – Ground Sample Distance – e sua relação com a fotogrametria. Disponível em: <<https://www.geosensori.com.br/2020/07/22/gsd-e-sua-relacao-com-a-fotogrametria/>>. Acesso em: 27 out. 2024.
- [9] CAMELO, P. I. DE C. Análise da precisão de dados de posicionamento obtidos por GPS/GNSS RTK e Laser Scanner na UFPE-CAA: um estudo comparativo. Caruaru: Universidade Federal de Pernambuco, 2023.
- [10] CERVI, W. R. Avaliação da altimetria de dados SRTM utilizando GNSS RTK como referência. Londrina: Universidade Estadual de Londrina, 2021.
- [11] COMASTRI, J. A.; TULER, J. C. Topografia: Altimetria. 3. ed. [s.l.: s.n.].

-
- [12] GLOBAL IMAGE. Aerofotogrametria com drones: Entenda o que é e como funciona. Disponível em: <<https://globalimage.com.br/aerofotogrametria-com-drones/>>. Acesso em: 6 out. 2024.
- [13] SOUSA, Raphael Duarte de; CAMPOS, Juliane Patrony; TORRETTA, Vinicius Salvador; ROSALEN, David Luciano; PEZZOPANE, José Ricardo Macedo; GUIMARÃES, Edilson da Silva; BERNARDI, Alberto C. de Campos. Estudo preliminar do impacto da sobreposição aerofotogramétrica na elaboração de mapa de índice de vegetação. In: ANAIS DA 14ª JORNADA CIENTÍFICA – EMBRAPA SÃO CARLOS, 2022, São Carlos. Embrapa Instrumentação e Embrapa Pecuária Sudeste, 2022.
- [14] SLEDZ, S.; EWERTOWSKI, M. W. Evaluation of the Influence of Processing Parameters in Structure-from-Motion Software on the Quality of Digital Elevation Models and Orthomosaics in the Context of Studies on Earth Surface Dynamics. *Remote Sensing*, v. 14, n. 6, p. 1312, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs14061312>.
- [15] SOPCHAKI, C. H. et al. Verificação da qualidade de ortomosaicos produzidos a partir de imagens obtidas com aeronave remotamente pilotada sem o uso de pontos de apoio. *RA'E GA - O Espaço Geográfico em Análise*, v. 39, p. 43–56, 9 fev. 2018.
- [16] CHAGAS, C. S. et al. Avaliação de modelos digitais de elevação para aplicação em um mapeamento digital de solos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 14, n. 2, p. 218–226, fev. 2010.
- [17] AGISOFT. Agisoft Metashape. Versão 1.8.5. [S. l.: s. n.].
- [18] QGIS DEVELOPMENT TEAM. QGIS. Versão 3.34. [S. l.: s. n.].