

NUVEM DE PONTOS GERADA POR FOTOGRAMETRIA E LIDAR: UM COMPARATIVO ENTRE DJI ZENMUSE P1 E DJI ZENMUSE L1

Érico Fernando de Oliveira Martins¹, Cesar Augusto González Gonçalves², Rodrigo Bruno Zanin³, Francisco Lledo dos Santos⁴, Pamella Aparecida Machado Silva⁵

^{1,3,4}Docente, Prof^aÁgua, Facet, Unemat Sinop, Brasil (profericomartins@unemat.br; rodrigo.zanin@unemat.br; franciscollado@unemat.br)

^{2,5}Discente, Facet, Unemat Sinop, Brasil(cesar3d@gmail.com; silva.pamella@unemat.br)

Resumo: Modelos Digitais de Terreno (MDT) são essenciais em campos como topografia, cartografia e engenharias, fornecendo um mapeamento detalhado do terreno. As tecnologias de fotogrametria e LiDAR são cruciais para capturar dados para a criação desses modelos, com a escolha entre elas dependendo das características específicas da área e dos requisitos do projeto. Nesta pesquisa, focou-se no uso dos sensores *Zenmuse L1*, um LiDAR, e *Zenmuse P1*, um fotogramétrico, para gerar e comparar duas nuvens de pontos tridimensionais e produzir MDTs. O estudo foi realizado em Sinop, Mato Grosso, em uma área de 330.000 m² com relevo e vegetação variados. O *Zenmuse L1* operou a 70 metros, capturando detalhes do solo em áreas complexas, registrando até três retornos do pulso laser. O *Zenmuse P1*, voando a 140 metros, foi ideal para áreas abertas, destacando-se pela alta resolução espacial. O *L1* processou dados em 31 minutos, gerando 197.463.984 pontos, enquanto o *P1* levou 8 horas e 39 minutos para produzir 38.872.313 pontos. Ambos possibilitaram análises detalhadas do terreno, com o *L1* se destacando em produtividade e precisão em ambientes complexos.

Palavras-chave: Modelo Digital de Terreno; Nuvem de pontos; LiDAR, DJI.

INTRODUÇÃO

O Modelo Digital de Elevação (MDE) é um termo genérico, que se refere a modelos matemáticos que descrevem uma superfície. O MDE tem seu uso consolidado nas áreas de Engenharia Civil e Arquitetura, oferecendo informações detalhadas sobre a superfície de interesse, permitindo que engenheiros e arquitetos realizem uma análise detalhada do espaço de intervenção. Isso inclui não apenas a visualização tridimensional do terreno, mas também a compreensão das características geográficas e geomorfológicas que podem influenciar o projeto.

A integração dos MDE com outras tecnologias, como Sistemas de Informação Geográfica (GIS) e Modelagem da Informação da Construção (BIM), amplia ainda mais suas aplicações, permitindo realização de simulações computacionais, integração com diferentes bases de dados etc.

Dependendo o que se deseja representar da superfície terrestre, diferentes terminologias podem ser utilizadas. Egels e Kasser, em 2002, diferenciaram entre Modelo Digital de Elevação (MDE), Modelo Digital do Terreno (MDT), e Modelo Digital de Superfície (MDS), cada um com suas especificidades quanto ao tipo de informação elevacional representada.

O Modelo Digital de Elevação (MDE) foi definido como uma representação matemática e digital de um objeto e seu ambiente, destacando que, por ser um conceito genérico, pode-se referir tanto à elevação do terreno quanto a qualquer nível acima dele.

Já o Modelo Digital de Superfície (MDS) é uma variação do MDE, que se concentra na elevação máxima de cada ponto, considerando tanto o terreno quanto qualquer elemento acima dele, como construções e vegetação. O MDS é particularmente útil para análises que necessitam considerar a altura de elementos naturais e artificiais na paisagem.

Por fim, o Modelo Digital do Terreno (MDT) é uma especificação do MDE, focada exclusivamente na elevação do terreno. O MDT fornece informações detalhadas sobre a elevação de qualquer ponto do terreno, sendo extremamente útil em estudos geográficos, planejamento urbano e projetos de engenharia.

A compreensão das características e diferenças entre esses modelos é fundamental para aproveitar plenamente seu potencial em diversas áreas científicas e práticas.

Para a geração de um MDE, é fundamental a amostragem de pontos com coordenadas tridimensionais sobre a superfície, que pode ocorrer

por meio de métodos tradicionais como curvas de nível digitalizadas, levantamentos topográficos ou coleta via Sistema Global de Navegação por Satélite (GNSS). A expressão utilizada para designar o conjunto de pontos tridimensionais amostrados, que se descreve inicialmente a superfície a ser modelada, é nuvem de pontos.

No entanto, em áreas extensas ou para obtenção de nuvens densas (com alta quantidade de pontos por metro quadrado), o processo de aerolevantamento é frequentemente utilizado. O aerolevantamento envolve o uso de sensores embarcados em aeronaves, para sobrevoar e mapear áreas de interesse. Atualmente, os sensores mais empregados são câmeras fotogramétricas e sistemas laser, conhecidos como LiDAR (*Light Detection and Ranging*).

Na aerofotogrametria, as câmeras captam imagens da superfície terrestre de várias posições durante o voo. Com técnicas de fotogrametria e processamento digital, é possível gerar pontos tridimensionais a partir dessas imagens, usando a estereoscopia. A câmera é um sensor passivo, ou seja, não emite luz própria, ela apenas capta a reflexão da luz solar. Isso limita sua capacidade de mapear áreas onde a luz não incide diretamente ou que estão obstruídas, ou seja, oclusões, como o solo sob a copa das árvores.

Por outro lado, o LiDAR, um sensor ativo, emite pulsos de laser e mede o tempo de retorno após atingirem o alvo. Essa medição permite calcular a distância entre o sensor e a superfície, resultando em um vasto conjunto de pontos tridimensionais que representam o terreno. Pelo princípio de funcionamento, este sensor sofre menos com oclusões.

A precisão do Modelo Digital de Elevação (MDE) gerado por aerolevantamento varia de acordo com diversos fatores, incluindo a resolução dos sensores, a qualidade dos dados coletados, a densidade de pontos medidos (no caso do LiDAR), e as condições atmosféricas durante a coleta. Em geral, a precisão dos MDEs pode variar de alguns centímetros a alguns metros, dependendo da metodologia, dos equipamentos utilizados e do contexto específico da aplicação (BUENO et al., 2022).

A plataforma utilizada no aerolevantamento também irá influenciar nos resultados obtidos, tanto em relação a intervalos de coleta e área de cobertura, quanto de custos. O avião é uma plataforma cara, que inviabiliza algumas coletas, por isso os Veículos Aéreos Não Tripulados estão ocupando espaço cada vez maior na coleta de dados geoespaciais.

Os Veículos Aéreos Não Tripulados (Vants), popularmente conhecidos como drones, são aeronaves que operam sem a necessidade de um piloto a bordo. São controlados remotamente ou por

sistemas de voo automatizados, muitas vezes utilizando tecnologias como GPS para navegação. Os VANTS têm uma ampla gama de aplicações, incluindo fotografia, vigilância, agricultura, levantamento topográfico e entretenimento.

Assim, devido a sua importância no processo de geração de MDE, esta pesquisa comparou duas técnicas de geração de nuvem de pontos. A técnica clássica por Fotogrametria e a técnica mais recente por sistema laser. Para isso, foram utilizados os sensores *DJI Zenmuse P1* e *DJI Zenmuse L1*, embarcados em um Veículo Aéreo não Tripulado (Vant). A coleta dos dados ocorreu em uma área de teste escolhida devido a variação de relevo e por possuir um cenário com feições mistas.

No mercado nacional, a DJI se destaca como uma das principais fabricantes de Vants. Dentre os modelos profissionais para mapeamento disponíveis no catálogo da DJI, o *Matrice 300 RTK* ocupa o topo. Lançado em 2020, este modelo se destaca, dentre outras coisas, por ser equipado com tecnologia de Posicionamento em Tempo Real (*Real-Time Kinematic* - RTK), proporcionando uma precisão de posicionamento extremamente alta, fundamental para operações que exigem dados geoespaciais confiáveis.

MATERIAL E MÉTODOS

Para este estudo foi selecionada uma área de teste de aproximadamente 330.000 m² em um loteamento em processo de abertura na cidade de Sinop, Mato Grosso (Figura 1). Esta área possui variações de relevo e conta com descampados e fragmentos de mata, que são interessantes cenários para explorar os potenciais e limitações das tecnologias envolvidas na coleta de dados geoespaciais.



Figura 1 – Delimitação da área de teste em amarelo (a, b) na cidade de Sinop, Mato Grosso. Fonte: Catálogo do Google Earth Pro, 2023.

Para a coleta dos dados foram utilizados os sensores *DJI Zenmuse L1* e *DJI Zenmuse P1*, embarcados na plataforma *DJI Matrice 300 RTK*. Todos estes equipamentos fazem parte do acervo do Laboratório

de Análise de Imagens Digitais – LAID, da Unemat Campus Sinop.

O sensor *DJI Zenmuse L1* foi utilizado para coletar dados laser. Ele possui um módulo LiDAR (*Light Detection and Ranging*) da *Livox*¹ (Figura 2a); integrado a uma IMU (*Inertial Measurement Unit*) de alta precisão (Figura 2b) e a uma câmera RGB de 20 megapixels (Figura 2c); montados em um *gimbal* estabilizado de 3 eixos (Figura 2d).

Este sensor é destaque no cenário profissional de produção de dados cartográficos, em particular na geração de nuvens de pontos tridimensionais para descrição detalhada da cena. Por se tratar de um sensor LiDAR, o resultado da coleta de dados com este sensor é uma nuvem de pontos georreferenciada que carrega, dentre outras informações, a cor dos elementos (registro RGB), a intensidade de pulso laser, o registro de retorno do pulso, a altitude, etc.

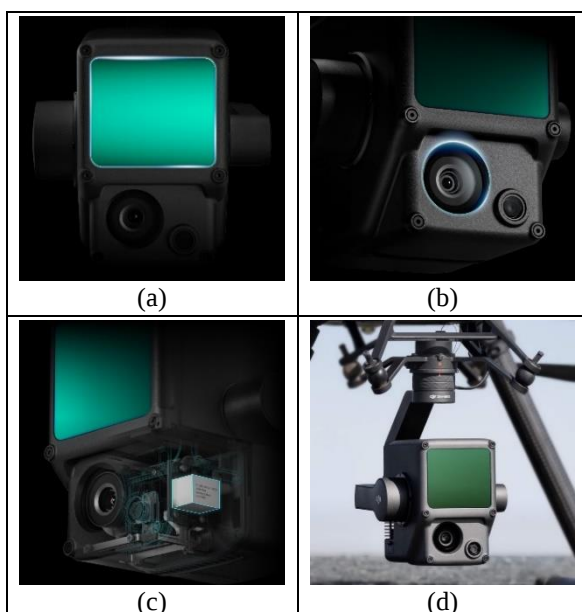


Figura 2 – Sensor *DJI Zenmuse L1* com destaque para o (a) LiDAR, (b) câmera, (c) IMU e (d) gimbal.

Fonte: <https://enterprise.dji.com/pt-br/zenmuse-l1>

O *Zenmuse L1* é capaz de registrar até três retornos do pulso laser, tornando-o uma solução robusta para aplicações de mapeamento em cenários complexos. Outras especificações estão no Quadro 1.

Quadro 1 – Algumas especificações técnicas do LiDAR, componente do *DJI Zenmuse L1*.

Taxa de coleta de pontos (retorno).	Único: máx. 240.000 pts/s; Múltiplo: máx. 480.000 pts/s
Precisão do sistema (RMS 1 σ)	Horizontal: 10 cm a 50 m; Vertical: 5 cm a 50 m
Modos de	Cor verdadeira;

¹ <https://www.livoxtech.com/>

coloração de nuvem de pontos	refletividade; elevação; distância
Modos de digitalização	Padrão de digitalização não repetitivo, Padrão de digitalização repetitivo
Campo visual (FOV) dos padrões de digitalização	Não repetitivo: 70,4° (horizontal) $\times$ 77,2° (vertical); Repetitivo: 70,4° (horizontal) $\times$ 4,5° (vertical)
Temperatura operacional	De -20 ° a 50 °C

Fonte: <https://enterprise.dji.com/pt-br/zenmuse-l1>.

O sensor *DJI Zenmuse P1* (Figura 3), com lente de 35 mm, é uma câmera fotogramétrica que gera imagens de alta resolução. Estas imagens, quando processadas via aerotriangulação permitem, por princípios fotogramétricos, a geração de nuvens de pontos tridimensionais que descrevem a cena.



Figura 3 – Sensor *DJI Zenmuse P1*. Fonte: <https://enterprise.dji.com/pt-br/zenmuse-p1>

Devido a suas avançadas especificações (Quadro 2), o *DJI Zenmuse P1* é um sensor fotogramétrico com amplas aplicações, tais como mapeamento, modelagem, topografia, construção e inspeções de infraestrutura.

Quadro 2 – Algumas especificações técnicas da câmera fotogramétrica *DJI Zenmuse P1*.

Sensor	Sensor (estático): 35,9 $\times$ 24 mm (full-frame) Sensor (área máx. de gravação do vídeo): 34 $\times$ 19 mm Píxeis efetivos: 45 MP
--------	---

	Tamanho do pixel: 4,4 μm
Velocidade do obturador	Velocidade do obturador mecânico: 1/2.000* -1 s Velocidade do obturador eletrônico: 1/8.000-1 s * Valor de abertura não superior a f/5,6.
Precisão absoluta	Horizontal: 3 cm, vertical: 5 cm
Temperatura operacional	De -20 ° a 50 °C

Fonte: <https://enterprise.dji.com/pt-br/zenmuse-p1>.

Os sensores descritos foram embarcados na plataforma Vant *Matrice 300 RTK* (Figura 4a), modelo da empresa *DJI* compatível. Este Vant tem como acessórios um controle inteligente *DJI Enterprise* (Figura 4b), com visor de 5,5", e um receptor *D-RTK 2* (Figura 4c), que é uma estação móvel GNSS de alta precisão, suportando os principais sistemas globais de navegação por satélite, proporcionando correções em tempo real que podem gerar dados com precisão em nível de centímetros.

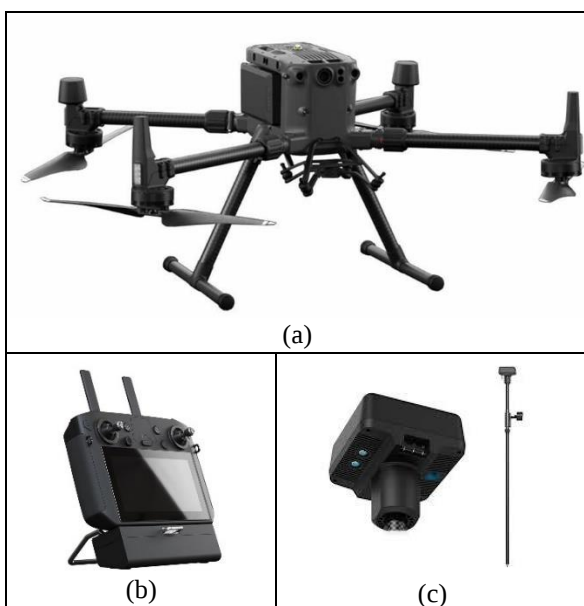


Figura 4 – Vant (a) *DJI Matrice 300 RTK*, com (b) controle *enterprise* e (c) estação móvel *D-RTK 2*.

Fonte: Acervo próprio.

O *Matrice 300 RTK* possui sistema de detecção e posicionamento em 6 direções, garantindo grande segurança de operação, evitando choque com objetos e pessoas. Suas especificações (Quadro 3), o colocam atualmente em destaque no cenário do mapeamento.

Quadro 3 – Especificações técnicas *Matrice 300 RTK*.

Tempo máximo de voo	55 minutos
Transmissão Máxima	15 km
Altura de serviço	7000m

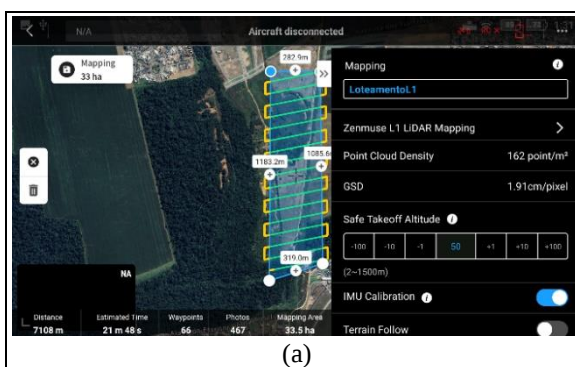
Resistência ao vento	15 m/s
Velocidade máxima	23 m/s
Capacidade Máxima	2,7 kg
Temperatura operacional	-20 °C a 50 °C

Fonte: <https://enterprise.dji.com/pt-br/matrice-300>

Com os equipamentos definidos, os planos de voo para as coletas de dados foram configurados no aplicativo oficial da empresa *DJI*, o *DJI Pilot*². Foi realizado um plano de voo automatizado para cada sensor. Os voos foram configurados na opção Mapeamento (*Mapping*), padrão de voo recomendado quando há interesse em coletar dados para criar mapas e modelos tridimensionais.

Como os algoritmos contidos no *DJI Pilot* são elaborados com base nos princípios fotogramétricos fundamentais, conforme são definidos determinados parâmetros pelo usuário no aplicativo, a missão vai sendo ajustada automaticamente. Assim, na interface do modo Mapeamento é fundamental que o usuário determine o polígono envolvente da área de interesse, indicando a altitude de voo e o sensor que será utilizado. Com estas informações o aplicativo é capaz de sugerir rotas otimizadas, bem como os parâmetros complementares de velocidade de voo, percentual de sobreposição das capturas, intervalo de acionamento do obturador, forma de disparo do canhão laser etc.

Conforme recomendação do manual do aplicativo *DJI Pilot* para voos do tipo Mapeamento, o sensor *DJI Zenmuse L1* operou com o modo de disparo Repetitivo, com registro de três retornos do pulso laser (Figura 5d). Ao capturar vários retornos do pulso, aumenta-se a chance de obter maior detalhamento da cena. Por exemplo, o primeiro retorno pode indicar a copa das árvores, o segundo pode representar os galhos ou folhagens intermediárias, e o terceiro pode alcançar o solo, fornecendo uma visão detalhada e em camadas da área mapeada. Outro parâmetro importante definido foi a altitude voo, que foi mantida em 70 metros (Figura 5b), 10 metros abaixo da altitude máxima recomendada pelo fabricante para o sensor.



² <https://www.dji.com/br/downloads/djiapp/dji-pilot>

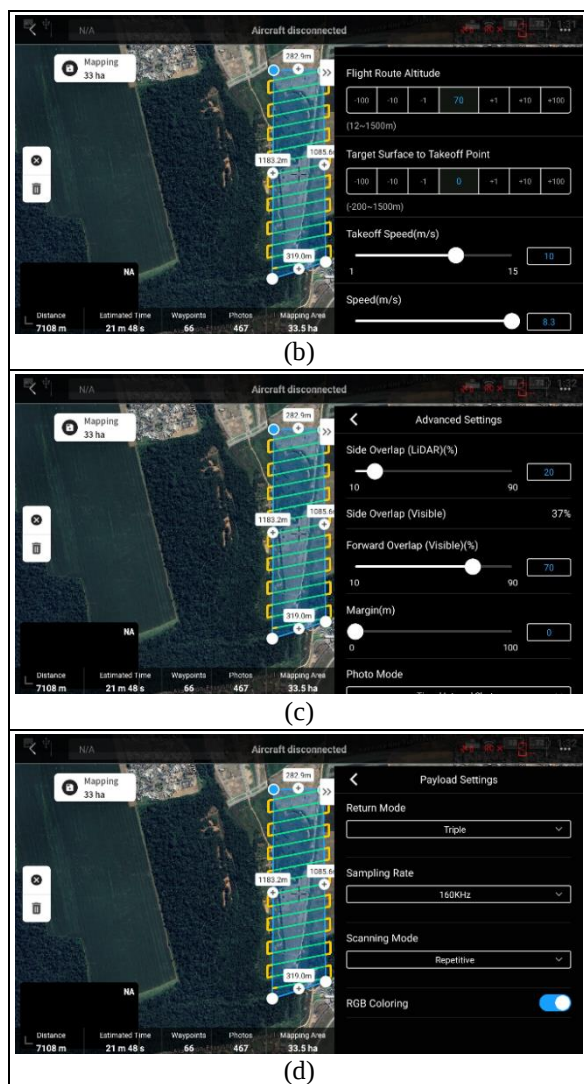


Figura 5 – Configurações do plano de voo no aplicativo *DJI Pilot*, para o sensor *Zenmuse L1*.
Fonte: Acervo próprio.

Para configurar o voo com o *Zenmuse P1*, a altitude foi ajustada para 140 metros, visando alinhar o GSD (Ground Sample Distance) do *Zenmuse P1* com o do *Zenmuse L1*. O GSD mede a resolução espacial: quanto menor, maior a resolução e mais detalhes são capturados. O *L1* alcançou 1,91 cm/pixel (Figura 5a), enquanto o *P1* alcançou 1,76 cm/pixel (Figura 6a).

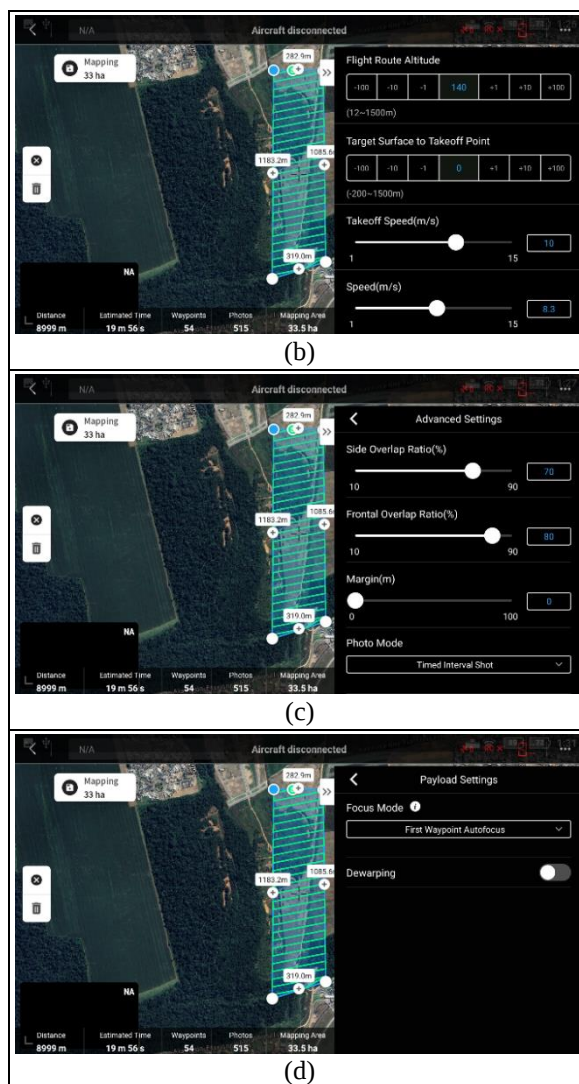
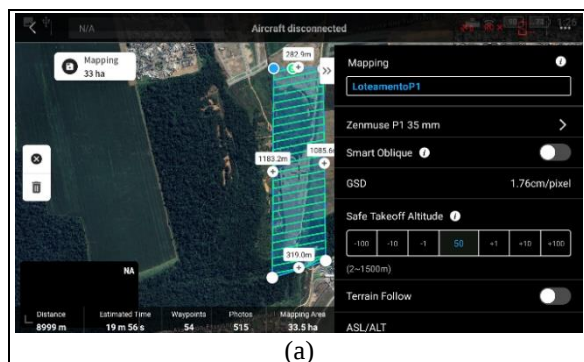


Figura 6 – Configurações do plano de voo no aplicativo *DJI Pilot*, para o sensor *Zenmuse P1*.
Fonte: Acervo próprio.

Os dados coletados foram então pré-processados no software proprietário *DJI Terra*³, cujo a licença de uso está registrada em nome do LAID. O computador utilizado no processamento foi um notebook com uma CPU Intel Core(TM) i7-6700HQ, CPU 2.60GHz 8 cores, uma placa de vídeo GeForce GTX 960M e 16256 MB de memória RAM.

No software *DJI Terra*, os dados do sensor *DJI Zenmuse L1* (nuvem de pontos laser) passam por processamento que inclui a reconstrução tridimensional dos pontos coletados, incluindo a fusão com informações de cor da cena, resultando em uma nuvem de pontos rica em detalhes. Este resultado pode ser exportado para uso em outros softwares.

³ <https://enterprise.dji.com/pt-br/dji-terra>

Já os dados do sensor *DJI Zenmuse P1* (imagens fotogramétricas) passa pelo processo de aerotriangulação. Neste processo o software alinha as imagens, corrige distorções e gera produtos fotogramétricos, dos quais nos interessa a nuvem de pontos tridimensional gerada pelo princípio de estereoscopia.

De posse da nuvem de pontos gerada por tecnologia LiDAR e da nuvem de pontos gerada por fotogrametria, foram produzidos no software *CloudCompare* dois Modelos Digitais de Terreno. Para isso, primeiramente foi realizada a segmentação da nuvem de pontos pelo método CSF (Zhang et. al., 2016) e então foi gerada a superfície por Triangulação de Delanay (Oliveira, 2012).

O método CSF (*Cloth Simulation Filtering*) produz a segmentação, ou seja, a separação dos pontos da nuvem em duas categorias: pontos de solo (*ground points*) e pontos de não-solo (*non ground points*). A Triangulação de Delaunay, por sua vez, cria uma superfície a partir de pontos de entrada (neste caso, os pontos do terreno), conectando-os em triângulos que maximizam o ângulo mínimo entre eles. Esta técnica organiza os pontos de modo que cada triângulo formado não tenha outros pontos dentro do círculo definido por seus vértices. Por se adaptar às variações topográficas, este método resulta numa malha (superfície) que representa com precisão as elevações e depressões do terreno.

As nuvens de pontos obtidas pelo pré-processamento no *DJI Terra* e as superfícies geradas no *CloudCompare* foram comparadas uma em relação a outra, fornecendo parâmetros para avaliações qualitativas e quantitativas dos resultados alcançados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dois voos ocorreram em condições satisfatórias de luminosidade, garantindo equivalência de cores no registro da cena pelos dois sensores. Isto contribuiu significativamente no processo de comparação visual dos resultados.

Para os dados do *Zenmuse L1*, o processamento no *DJI Terra* consumiu um tempo total de 31 minutos, gerando um arquivo em disco rígido de 6.253 megabytes. A nuvem de pontos resultante é formada por 197.463.984 pontos.

Como é possível notar (Figura 7a,c), a nuvem de pontos LiDAR é extremamente homogênea, com área de grande densidade de pontos somente nos trechos de calibração em voo do sensor *Zenmuse L1* (Figura 6c) Este processo de calibração em voo é repetido ao final de cada faixa de voo e/ou a cada 100 segundos de captura com este sensor.

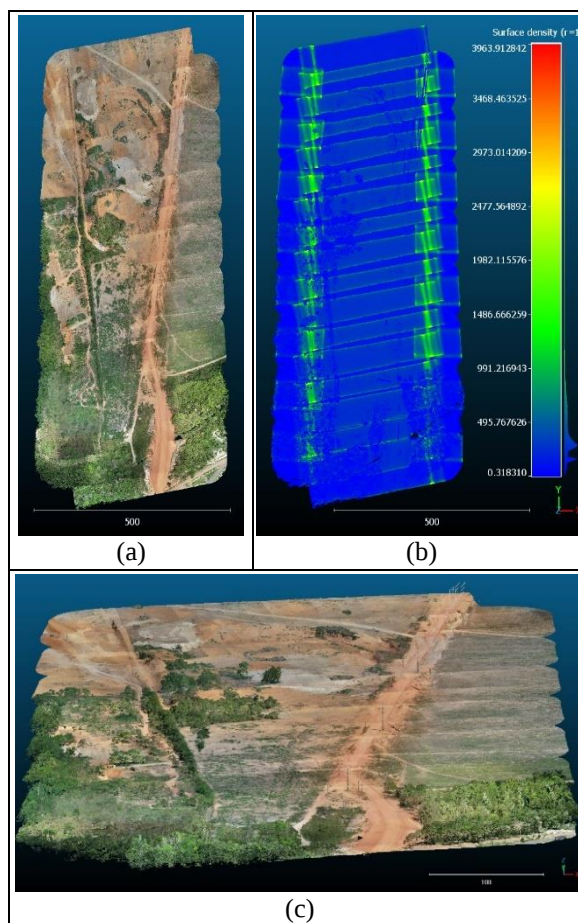


Figura 7 – Nuvem de pontos do *Zenmuse L1* (a) visão no nadir colorida por RGB, (b) visão no nadir colorida por densidade, (c) visão oblíqua colorida por RGB. Fonte: Acervo próprio.

Devido à alta densidade desta nuvem de pontos e ao fato de ela estar colorida utilizando a informação RGB da paisagem, a nuvem de pontos possibilita inspeções detalhadas do terreno. Isso permite realizar medições precisas de distância, área, volume e a coleta de coordenadas de pontos específicos.

Ao submeter esta nuvem de pontos ao processamento via algoritmo CSF no software *CloudCompare*, obteve-se uma nuvem de pontos segmentada em duas categorias: pontos de terreno e pontos de não-terreno. Na Figura 8a e 8c, são apresentados os pontos de terreno, enquanto a Figura 8b e 8d mostra os pontos de não-terreno.

Essa etapa de segmentação é crucial para a geração de um Modelo Digital de Terreno (MDT) sem interferências de pontos que não sejam do terreno, ou evitando a ausência de pontos importantes do terreno. Esse processo assegura que o MDT resultante seja preciso e confiável para diversas aplicações de análise e planejamento.

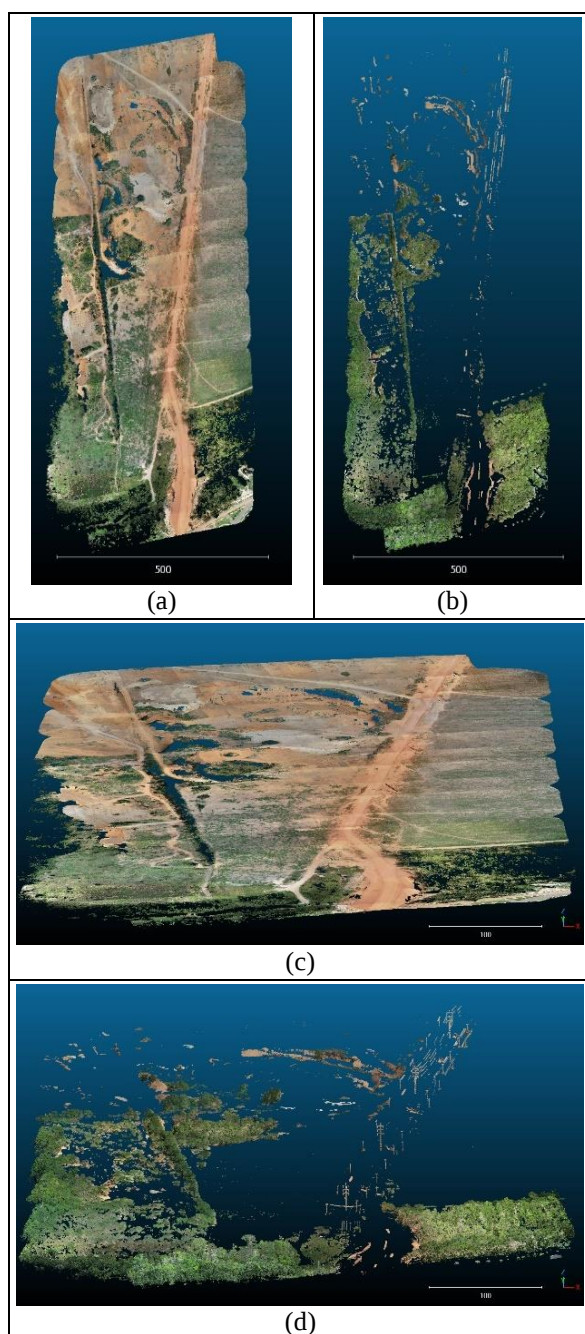


Figura 8 – Nuvem de pontos resultante do CSF (a,c) com pontos do terreno em visão superior e oblíqua e (b,d) com pontos de não terreno em visão superior e oblíqua. Fonte: Acervo próprio.

A partir da nuvem de pontos do terreno foi gerada a superfície por Triangulação de *Delaunay* no *CloudCompare*, ou seja, o MDT (Figura 9).

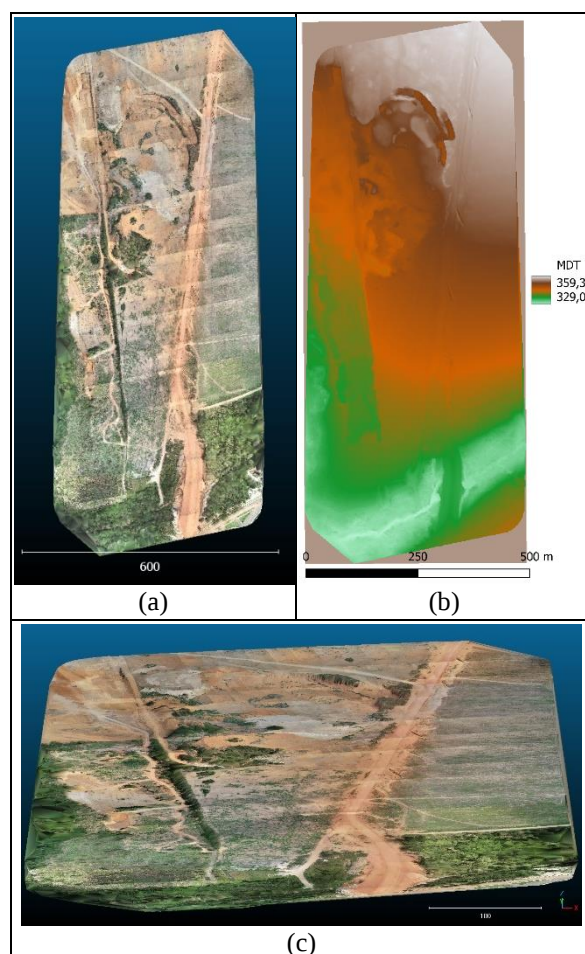


Figura 9 – MDT gerado a partir da nuvem de pontos do sensor *Zenmuse L1* (a,c) colorida pelo RGB da cena e (b) colorida por altitude. Fonte: Acervo próprio.

O voo com o sensor *Zenmuse P1* capturou 556 imagens, que consumiram um total de 54 minutos de processamento no *DJI Terra*. Com a aerotriangulação concluída, foi gerada a nuvem de pontos por fotogrametria, que consumiu 7 horas e 45 minutos de processamento.

A nuvem gerada ocupou um espaço em disco de 987 MB, contando com 38.872.313 pontos. Apesar de inferior daquela gerada pelo LiDAR, esta densidade continua sendo alta, também permitindo a interpretação visual da cena na própria nuvem de pontos (Figura 10a,c), além de viabilizar a realização de medições de comprimentos, volumes, alturas e área, bem como coleta de coordenadas.

O mapa de distribuição de densidade (Figura 10b) evidencia um comportamento não uniforme, havendo um adensamento nos locais de variação bruscas das altitudes, ou seja, áreas de matas.

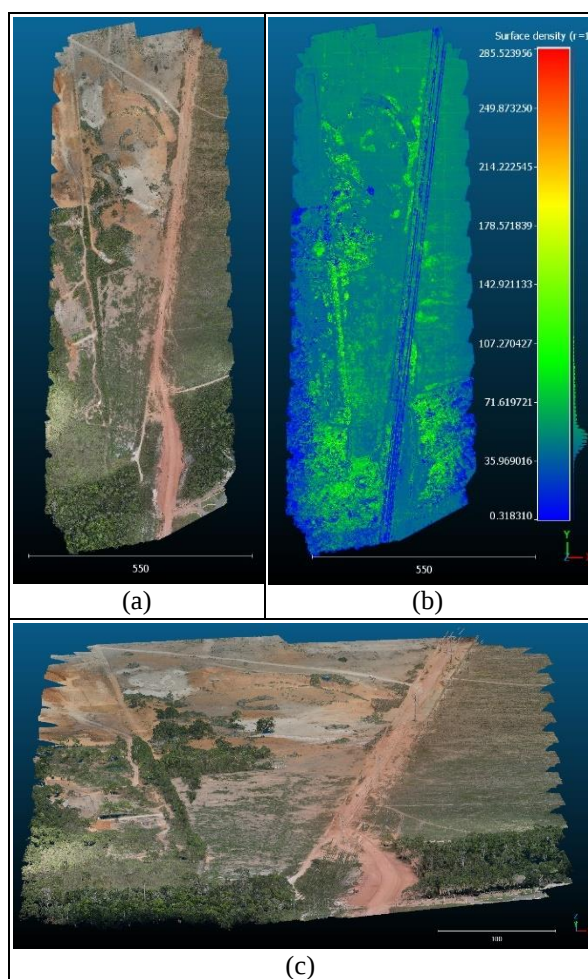


Figura 10 – Nuvem de pontos do Zenmuse P1 (a,c) colorida por RGB, (b) por densidade. Fonte: Acervo próprio.

A segmentação por CSF obteve pontos do terreno com grandes áreas sem pontos (vazios) nas áreas de vegetação (Figura 11a), sendo um resultado inferior ao da nuvem de pontos LiDAR (Figura 8a).

Este comportamento da nuvem de pontos é esperado em razão da diferença na forma de obtenção destes pontos. Enquanto na coleta por LiDAR é possível haver eventuais pontos do terreno na área de mata, em razão do registro de três retornos do pulso laser, pelo princípio fotogramétrico isto se torna impossível, reduzindo ou até eliminando amostras de pontos de terreno nestas regiões.

O próximo passo envolveu a criação do Modelo Digital do Terreno (MDT). No entanto, durante a criação do MDT, alguns desafios foram encontrados. Pelo fato da nuvem de pontos original possuir grandes lacunas, ou seja, regiões onde não havia dados de pontos disponíveis, áreas correspondentes no MDT sofreram com um nível de detalhamento inferior. Isso foi evidente ao comparar as representações visuais das regiões afetadas.

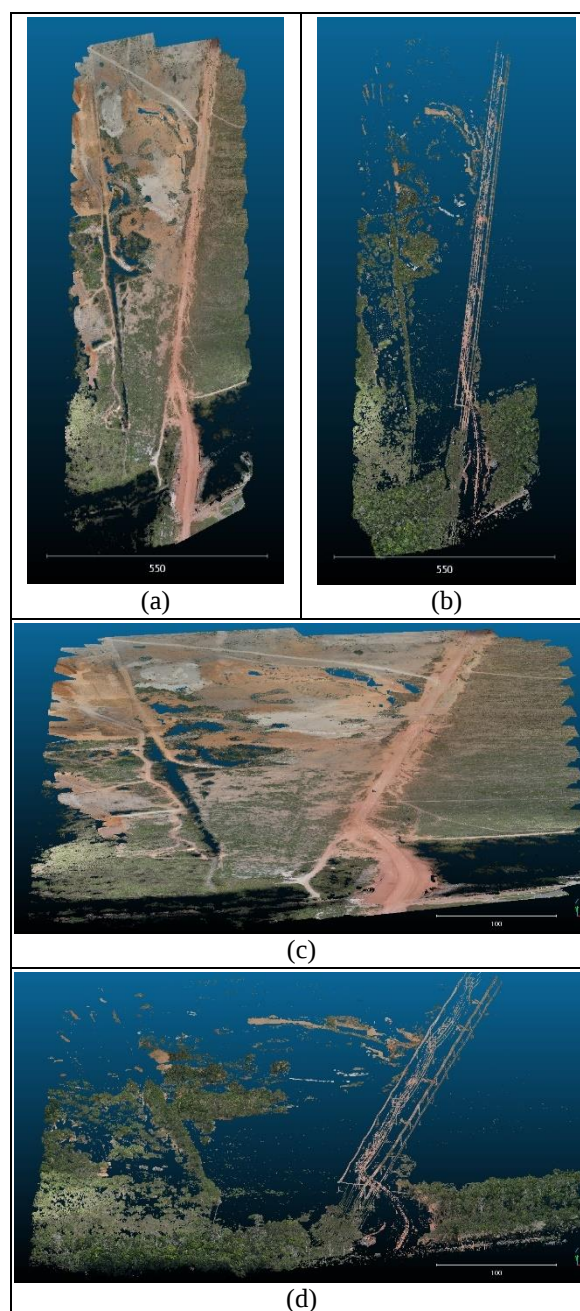


Figura 11 – Nuvem de pontos resultante do CSF (a,c) com pontos do terreno em visão superior e oblíqua e (b,d) e de não terreno em visão superior e oblíqua. Fonte: Acervo próprio.

Na parte inferior da Figura 12b, que ilustra o MDT resultante, o detalhamento era visivelmente mais grosseiro em comparação com a mesma região representada na Figura 8b. Isto significa que a precisão e a resolução do MDT foram comprometidas. Esta diferença de qualidade entre as áreas bem mapeadas e as regiões com lacunas de dados destaca a importância de uma cobertura completa e uniforme na coleta de dados para a criação de modelos digitais detalhados e precisos do terreno. Por fim, a título de avaliação quantitativa, foi

gerada uma superfície de discrepância da nuvem de pontos (Figura 13a) e outra dos MDTs (Figura 13b).

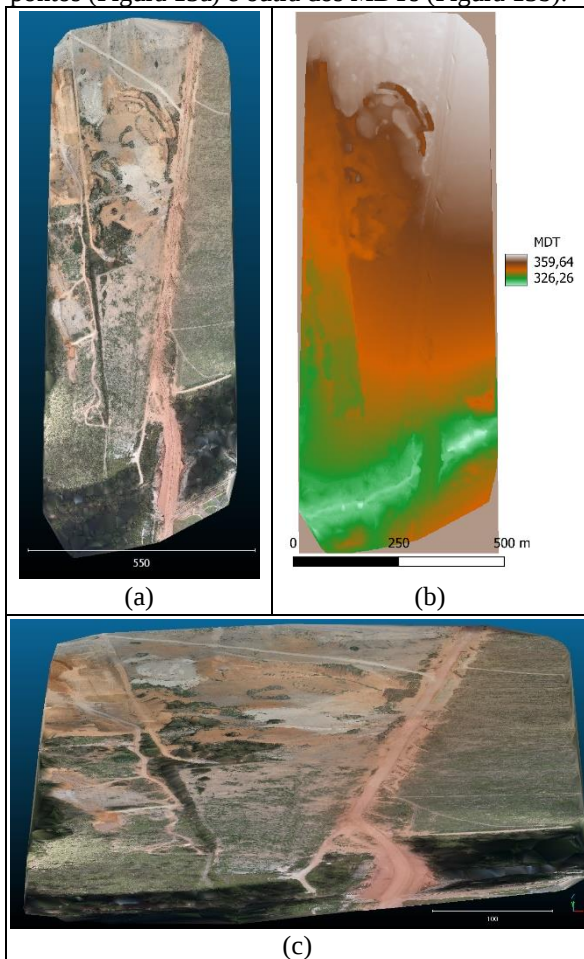


Figura 12 – MDT gerado a partir da nuvem de pontos do sensor *Zenmuse P1* (a,c) colorida pelo RGB da cena e (b) colorida por altitude. Fonte: Acervo próprio.

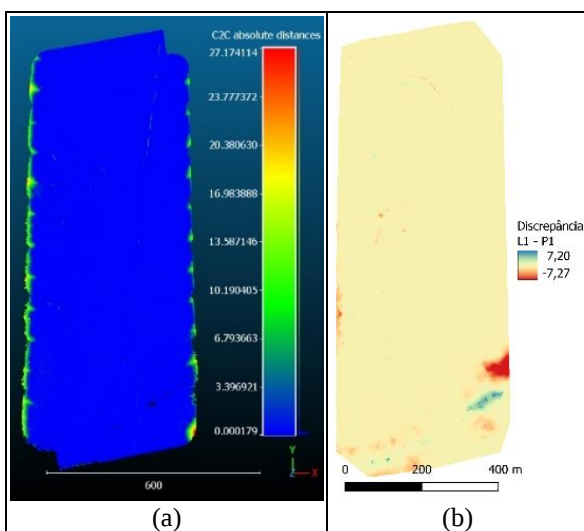


Figura 13 – Superfície de discrepâncias entre (a) as nuvens de pontos e entre os (b) MDTs. Fonte: Acervo próprio.

As superfícies de discrepâncias são representações das distâncias entre elementos, com valor zero caso a os elementos sejam idênticos. No caso das nuvens de pontos (Figura 10a e Figura 11a), o *CloudCompare* usa a “distância do vizinho mais próximo” para calcular a distância entre duas nuvens de pontos (Figura 14). Este método envolve procurar o ponto mais próximo na nuvem de referência para cada ponto da nuvem comparada e, em seguida, calcular a distância euclidiana entre os dois pontos. Já a discrepância entre as superfícies (Figura 9b e Figura 12b) é calculada por subtração pixel por pixel, sendo que cada pixel indica a altitude média da área.

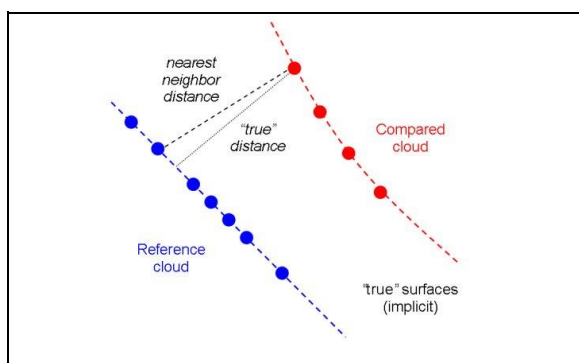


Figura 14 – Superfície de distâncias (a) entre as nuvens de pontos e (b) discrepâncias entre os MDTs. Fonte: Acervo próprio.

A discrepâncias indicaram que as nuvens de pontos possuíam alto grau de similaridade e que as discrepâncias constatadas no MDT se devem as questões de segmentação incorreta dos pontos no momento da geração do MDT.

CONCLUSÃO

Esta pesquisa procurou explorar um tipo de produto que pode ser gerado por diferentes princípios físicos. Este produto é a nuvem de pontos tridimensional colorida, que descreve de forma cartográfica um cenário e pode ser utilizado para gerar Modelos Digitais de Terreno. Os princípios físicos de geração da nuvem de pontos se dividem em tecnologia LiDAR, que é o registro de retornos de disparos laser, e a tecnologia Fotogramétrica, que a obtenção de coordenadas tridimensionais a partir de princípios estereoscópicos aplicados a imagens.

Neste trabalho, a tecnologia LiDAR esteve presente nos dados capturados pelo sensor *Zenmuse L1* e a tecnologia Fotogramétrica no sensor *Zenmuse P1*. Ambos os sensores foram embarcados em um Vant *Matrice 300 RTK*. Tanto estes equipamentos, quanto os softwares de planejamento de coleta e de pré-processamento dos dados, fazem parte de um moderno ecossistema de mapeamento profissional da empresa DJI, que possui expressiva participação no mercado nacional.



A coleta de dados foi realizada em uma região de relevo levemente variado, oscilando entre áreas abertas e florestadas, cobrindo cerca de 330.000 m². O sensor *Zenmuse L1* operou a uma altitude de 70 metros, configurado para o modo LiDAR repetitivo, capturando três retornos do pulso laser. Paralelamente, o sensor *Zenmuse P1* voou a 140 metros, com configurações padrão para a captura de imagens.

O processamento dos dados do *Zenmuse L1* levou 31 minutos, resultando em uma densa nuvem de 197.463.984 pontos. Em contraste, o *Zenmuse P1* demandou 8 horas e 39 minutos para processar, gerando uma nuvem de 38.872.313 pontos. Ambas as nuvens de pontos foram suficientemente densas para permitir uma interpretação detalhada da paisagem.

Durante a segmentação das nuvens de pontos, os dados de terreno foram separados dos não-terrenos, sendo os primeiros essenciais para criar um Modelo Digital de Terreno (MDT) preciso. O *Zenmuse L1* se destacou ao capturar dados do solo em áreas com obstáculos, como vegetação, graças ao seu registro de três retornos do pulso laser. As filtrações produziram grandes áreas vazias nos pontos de terreno da nuvem de pontos do sensor *Zenmuse P1*, o que acabou por resultar em MDTs menos precisos na descrição do relevo.

Os experimentos demonstraram que o *Zenmuse L1* se sobressai em produtividade e precisão, especialmente em áreas com obstáculos, devido ao seu tempo de processamento reduzido. Por outro lado, o *Zenmuse P1* mostrou-se equivalente em precisão nas áreas abertas, com a vantagem de possuir maior resolução espacial, destacando detalhes da cena.

Para pesquisas futuras, recomenda-se usar o *Zenmuse L1* em áreas florestadas com diferentes densidades de vegetação. Essa abordagem permitirá entender melhor a capacidade do sensor em penetrar coberturas vegetais densas e capturar dados do solo subjacente. Contribuindo para a definição de parâmetros eficientes para missões nestes cenários ou em cenários mistos.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao LAID, Laboratório da Rede SpinLab, pela estrutura e suporte prestado na execução desta pesquisa. Aos bolsistas (Edital PROBIC 001/2023 e Edital PIBIC/CNPq 006/2023) Henrique Luis Fontana, Pamella Aparecida Machado Silva, Sarah Lirio Paim.

REFERÊNCIAS

BARTMIŃSKI, Piotr; SIŁUCH, Marcin; KOCIUBA, Waldemar. The Effectiveness of a UAV-Based LiDAR Survey to Develop Digital Terrain Models and Topographic Texture Analyses.

Sensors, v. 23, n. 14, p. 6415, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/s23146415>. Acesso em: 3 jun. 2024.

BUENO, J.O.A.; CRESTANA, S.; PEZZOPANE, J.R.M.; BOURSCHIEDT, V.; BERNARDI, A.C.C. Comparação entre modelos digitais e de terreno gerados por quatro fontes de dados diferentes. Revista Concilium, v. 22, n. 6, p. 2-14, 2022.

DELAUNAY, B. Sur la sphère vide. Bulletin de l'Académie des Sciences de l'URSS, Classe des Sciences Mathématiques et Naturelles, v. 6, p. 793–800, 1934.

EGELS, Y.; KASSER, M. Digital Photogrammetry. New York: Taylor & Francis, 2002. 351 p.

KHOLODKOV, K.I.; IVANOV, S.D.; ALESHIN, I.M. et al. Experience of Constructing Digital Elevation Models with Unmanned Aerial Vehicles. Seism. Instr., v. 58, p. 295–301, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3103/S0747923922030070>

KOVANIČ, L.; TOPITZER, B.; PEŤOVSKÝ, P.; BLIŠŤAN, P.; GERGELOVÁ, M.B.; BLIŠŤANOVÁ, M. Review of Photogrammetric and Lidar Applications of UAV. Applied Sciences, v. 13, n. 11, p. 6732, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/app13116732>

OLIVEIRA, S. L. G. de. A review on Delaunay refinement techniques. Computational Science and Its Applications, p. 172-187, 2012. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-642-31125-3_14.

TREPEKLI, K.; BALSTRØM, T.; FRIBORG, T. et al. UAV-borne, LiDAR-based elevation modelling: a method for improving local-scale urban flood risk assessment. Nat Hazards, v. 113, p. 423–451, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11069-022-05308-9>

ZHANG, W.; QI, J.; WAN, P.; WANG, H.; XIE, D.; WANG, X.; YAN, G. An Easy-to-Use Airborne LiDAR Data Filtering Method Based on Cloth Simulation. Remote Sensing, v. 8, n. 6, p. 501, 2016.