

PRODUÇÃO DE ORTOMOISACO APLICANDO AERONAVES REMOTAMENTE PILOTADAS (RPA) PARA REALIZAR O MAPEAMENTO DO AEROPORTO DIX-SEPT ROSADO (SBMS) EM MOSSORÓ

Luan Brígido e Silva¹, Paulo César Moura da Silva²

¹Graduando do Curso Bacharelado em Ciência e Tecnologia, UFERSA, Mossoró - Rio Grande do Norte, e-mail: luanbrigido@gmail.com..

²Doutor em Recursos Naturais, professor titular da UFERSA, Mossoró-Rio Grande do Norte, e-mail: paulo.moura@ufersa.edu.br

Resumo: Ortomosaicos são fundamentais no geoprocessamento, consistindo em imagens de alta resolução e georreferenciadas, amplamente aplicadas em áreas urbanas e rurais para planejamento, saúde e segurança pública. A Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) tem demonstrado, nos últimos anos, um crescente interesse e avanços significativos na criação e desenvolvimento de ortofotos aplicadas ao geoprocessamento, respondendo à crescente demanda por mapeamentos em locais sensíveis. Assim, o objetivo desse trabalho foi realizar o mapeamento do Aeroporto Dix-Sept Rosado (SBMS), localizado em Mossoró, no estado brasileiro do Rio Grande do Norte. Este estudo teve como objetivo mapear o Aeroporto Dix-Sept Rosado (SBMS), em Mossoró (RN). Utilizando conhecimentos avançados em aerolevantamento, aplicaram-se um drone Mavic Air 2 (DJI) e um GPS com tecnologia RTK e PPK para gerar mapas. As imagens e pontos coletados foram processados nos softwares Agisoft Metashape e QGIS, resultando em mapas temáticos, incluindo ortomosaicos e Modelos Digitais de Elevação (MDE) tanto do terreno como da pista. Os dados indicaram que as Vias ocupam 41,52% e o Solo Exposto 37,25% da área, mostrando uma infraestrutura já bem estabelecida, enquanto as Edificações somam apenas 6,74%. A inclinação da pista de pouso e decolagem, área crucial do aeroporto, foi analisada conforme as normas da Organização Internacional da Aviação Civil (OACI). A diferença de cota foi de 6,73 metros, dentro do limite de inclinação de 1,5% recomendado pela OACI, que permite uma variação de 1,5 metros a cada 100 metros de pista. Esses dados confirmam que a infraestrutura do aeroporto está em conformidade com os padrões de segurança internacionais.

Palavras Chave: Geoprocessamento. UFERSA. Modelos Digitais de Elevação (MDE). Agisoft Metashape. QGIS.

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) demonstrou interesse e avanço técnico na criação e elaboração de ortofotos, também conhecidas como ortomosaicos, na esfera do geoprocessamento. Esse conhecimento possibilita atuação em diferentes domínios, sendo que a demanda pelo mapeamento de áreas sensíveis é de extrema importância na atualidade. A capacidade de produzir mapas precisos e atualizados é vital para enfrentar desafios ambientais, urbanos e rurais, auxiliando na gestão eficiente de recursos e na implementação de políticas públicas eficazes.

De acordo com Campbell e Wynne (2011) [1], o uso de imagens em alta resolução, ajustadas com correções geométricas adequadas, é uma solução viável para atividades que exigem precisão nas medições. Essa abordagem permite identificar obstáculos e áreas de interesse para futuras implantações em planos de Zonas de Proteção de Aeródromos.

Imagens de RPA em alta resolução, devidamente corrigidas geometricamente, oferecem uma contribuição técnica significativa para o gerenciamento das Zonas de Proteção de Aeródromos. Elas facilitam e agilizam a identificação de obstáculos em áreas de interesse, permitindo a medição precisa de distâncias nos Planos de Zonas de Proteção, com um erro conhecido. Essa tecnologia proporciona à administração aeroportuária uma nova abordagem para gerenciar essas zonas, integrando metodologias científicas com os conceitos e normas estabelecidos pela Organização de Aviação Civil Internacional (OACI) para o controle de obstáculos LILLESAND et al., 2015) [2].

Desenvolver o mapeamento de áreas específicas como de um aeroporto em pleno funcionamento, como o aeroporto Dix-Sept Rosado em Mossoró-RN, empregando desde conhecimentos básicos de topografia até avançados em aerolevantamento e geoprocessamento, e simultaneamente oferecendo um serviço fundamental na operação segura de um equipamento crucial para o desenvolvimento econômico da região como um todo, é de suma

importância. A criação de ortomosaicos precisos do aeroporto facilitará o planejamento de infraestrutura, a manutenção de pistas e a gestão de espaços aeroportuários, contribuindo para a segurança e eficiência das operações aéreas.

Destaca-se que mapear o aeroporto de Mossoró-RN não só promove o avanço tecnológico e acadêmico da UFRSA, mas também oferece um produto completo georreferenciado, ocasionando benefícios tangíveis para a comunidade local e regional. A utilização de ortomosaicos no mapeamento do aeroporto de Dix-sept Rosado representa um passo importante para o desenvolvimento sustentável e seguro da infraestrutura aérea de Mossoró-RN, além de fortalecer a formação de futuros profissionais em geoprocessamento.

Diante desse contexto, esta pesquisa teve como objetivo desenvolver mapas temáticos de alta precisão, implementar o uso de geotecnologias para aprimorar a gestão do Aeroporto Dix-Sept Rosado, localizado em Mossoró-RN, Brasil, e criar um banco de dados geoespacial para o aeroporto. Foram utilizadas técnicas avançadas de aerolevantamento e geoprocessamento, aplicadas em um ambiente operacional ativo, visando otimizar o controle e a administração do espaço aeroportuário.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Os ortomosaicos são elementos empregados no campo do geoprocessamento ou geotecnologias, constituídos por um conjunto de imagens geralmente de alta resolução e georreferenciadas (JENSEN, 2007) [3]. Essas imagens têm aplicações em diversas áreas de conhecimento e em trabalhos técnicos, principalmente em áreas urbanas, abrangendo desde o planejamento urbano até questões tributárias, saúde pública e segurança pública. A precisão e a riqueza de detalhes proporcionadas pelos ortomosaicos torna-os ferramentas indispensáveis para a análise espacial e a tomada de decisões fundamentadas.

Entre os diversos produtos gerados a partir do uso de Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPAs), comumente denominadas de drones, em análises geoespaciais, dois se destacam pela sua relevância: o ortomosaico e o modelo digital de elevação (MDE). Conforme (COLOMINA; MOLINA, 2014) [4], ortomosaico é um mosaico formado pela junção de várias ortofotos corrigidas geometricamente, permitindo a criação de uma imagem digital de alta precisão espacial e livre de distorções. Esse produto é amplamente utilizado em cartografia, monitoramento ambiental, planejamento urbano e outras áreas que demandam imagens detalhadas e georreferenciadas.

Já o MDE é um modelo tridimensional que representa a topografia de uma área, no qual cada pixel da imagem corresponde a um valor de altitude da superfície modelada (BATTY, 2005) [5]. Esse modelo é essencial para estudos de relevo, planejamento de infraestrutura, análise de bacias hidrográficas e mapeamento de áreas sujeitas a desastres naturais, como deslizamentos e inundações. Dessa forma, a utilização de RPAs proporciona dados fundamentais para o planejamento e gestão territorial com alta precisão e eficiência.

O uso das técnicas de geoprocessamento proporciona diversas oportunidades para o mapeamento de áreas diversas. Em um ambiente aeroportuário, a aplicação dessa tecnologia pode aprimorar consideravelmente a gestão, planejamento e operação dessas instalações, oferecendo uma visão completa, detalhada e precisa das infraestruturas e atividades que ocorrem nesses espaços. Ao empregar dados geoespaciais, é viável mapear e analisar a infraestrutura do aeroporto, abrangendo pistas, terminais, hangares, estacionamentos, dentre outras edificações e outros elementos. Tais condições simplificam a vigilância dessas estruturas e a identificação de necessidades de manutenção, permitindo uma manutenção preditiva, onde problemas potenciais são identificados e resolvidos antes que se tornem críticos, reduzindo assim o tempo de inatividade e os custos de reparo.

O geoprocessamento possibilita a criação de modelos tridimensionais que contribuem para a previsão e planejamento de expansões futuras do aeroporto. Isso é crucial para evitar problemas de capacidade e espaço à medida que a demanda cresce. Modelos 3D detalhados permitem que os profissionais planejadores visualizem como novas construções ou expansões impactarão o ambiente existente, garantindo que todas as normas e regulamentos sejam cumpridos. Esses modelos também auxiliam na análise de sombreamento, fluxos de tráfego e outros aspectos críticos de design e planejamento urbano, facilitando a tomada de decisões informadas e precisas.

Além disso, a tecnologia de geoprocessamento pode auxiliar na demarcação de zonas dentro e ao redor do aeroporto para diferentes finalidades, como áreas de segurança, comerciais, entre outros. Isso facilita a gestão do uso do solo e garante que diferentes atividades ocorram em locais apropriados, minimizando conflitos e otimizando o uso do espaço disponível. Zonas de segurança podem ser monitoradas continuamente para garantir que permanecem desobstruídas e adequadas às necessidades operacionais e regulatórias (CAMPBELL; WYNNE, 2011) [6].

Atualmente, uma aplicação crucial do mapeamento geoespacial é a realização de análises de impacto ambiental das operações aeroportuárias, considerando emissões, ruídos e outras preocupações ambientais. Isso influencia diretamente na gestão eficiente de recursos, como combustível, energia elétrica e água, fornecendo informações sobre o consumo e distribuição desses recursos em toda a instalação do aeroporto. As ferramentas de geoprocessamento podem modelar e prever a dispersão de poluentes e ruídos, permitindo que os gestores tomem medidas proativas para mitigar impactos negativos no meio ambiente e nas comunidades vizinhas.

Do ponto de vista operacional, o mapeamento das estruturas é essencial para criar mapas de navegação para aeronaves no ar e veículos em terra. Isso engloba a elaboração de procedimentos mais seguros e eficientes para pouso, decolagem e taxiamento, permitindo o gerenciamento do tráfego aéreo em tempo real com o auxílio de dados

geoespaciais. A integração desses mapas com sistemas de controle de tráfego aéreo melhora a segurança e eficiência das operações, reduzindo atrasos e aumentando a capacidade do aeroporto para lidar com fluxos de tráfego elevados.

Um aspecto crucial na operação do Aeroporto Dix-Sept Rosado de Mossoró-RN é o planejamento de resposta a emergências utilizando mapas aeroespaciais. Isso ajuda no planejamento de evacuações e resposta rápida a emergências, identificando rotas de fuga, áreas de encontro e locais de recursos. Planos de emergência detalhados e baseados em geoprocessamento permitem que os socorristas se movimentem rapidamente e eficientemente, minimizando os impactos de incidentes e garantindo a segurança de passageiros e funcionários.

3. METODOLOGIA

3.1. Caracterização da área de estudo

Dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2023) [7] indicam que a cidade de Mossoró, localizada no estado brasileiro do Rio Grande do Norte (RN), possui uma área total de 2.066,65 km² e uma população estimada em 264.577 habitantes, de acordo com o último censo. Considerada a segunda cidade mais populosa do Rio Grande do Norte (IBGE, 2023) [7], Mossoró apresenta um intenso crescimento econômico impulsionado por diversas atividades, como a produção de petróleo, sal marinho e fruticultura. Além disso, é um importante destino turístico, especialmente durante o período junino devido às suas festividades.

O Aeroporto Municipal de Mossoró Dix-Sept Rosado (Figura 1), que serve o município de Mossoró, é um elemento crucial para a infraestrutura da região. Mossoró, sendo a segunda maior cidade do estado do Rio Grande do Norte, atrás apenas da capital, Natal, tem sua importância destacada no contexto regional. Os primeiros voos comerciais no aeroporto foram realizados em 1945, pelas empresas Cruzeiro do Sul e Panair do Brasil (INFRAERO, 2023) [8]. O sítio do aeroporto de Mossoró ocupa uma área total de 128,2 hectares (x m²), com uma área de embarque de 940 m² e uma pista de pouso de 1.900 m de comprimento por 30 m de largura. Esta infraestrutura é caracterizada por estar em bom estado de conservação e por atender aos padrões necessários para pousos e decolagens (INFRAERO, 2023) [8].

Em 28 de setembro do ano de 2023, o Ministério de Portos e Aeroportos, por meio da Portaria Nº 415 (MINISTÉRIO DE PORTOS E AEROPORTOS, 2023) [9], atribuiu a Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária – INFRAERO, a administração, operação e exploração do Aeroporto Dix-Sept Rosado (SBMS), localizado com as seguintes coordenadas geográficas: 05° 11' 45" de latitude Sul, e 37° 21' 42" de longitude Oeste.

O aeroporto em questão tem capacidade para atender até 26.280 passageiros anualmente, realizando operações regulares tanto com aviação comercial quanto com aviação privada. Dispõe de dois pátios de manobra, com áreas de 12.800,00 m² e 11.600,00 m², correspondentes aos pátios 1 e 2, respectivamente, sendo o pátio 2 destinado exclusivamente à aviação geral (INFRAERO, 2023) [8], conforme ilustrado na Figura 2.

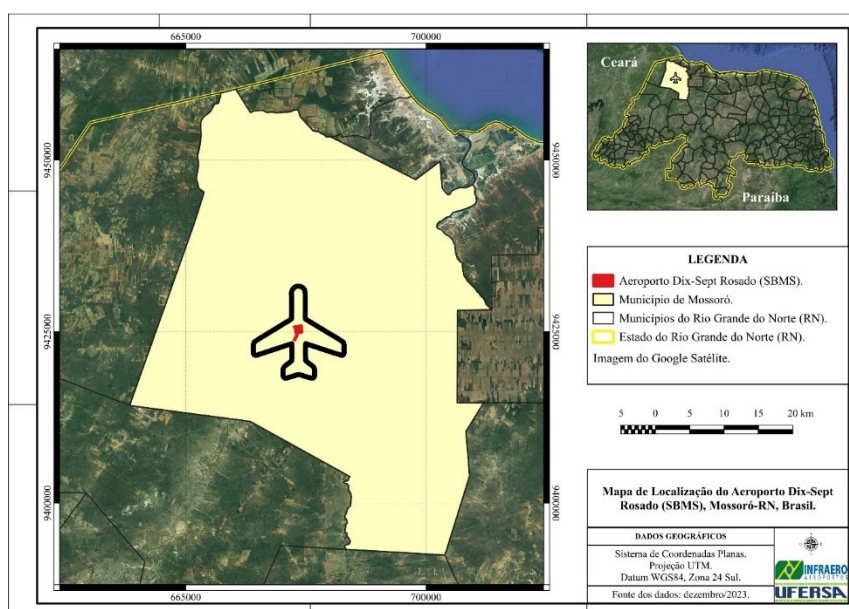


Figura 1. Mapa de localização do Aeroporto Dix-Sept Rosado (SBMS) de Mossoró-RN, Brasil. (Fonte: APOIO TÉCNICO NA ELABORAÇÃO DE ORTOFOTOS DE AERONAVES REMOTAMENTE PILOTADAS (RPA) PARA O MAPEAMENTO DO SÍTIO DO AEROPORTO DIX-SEPT ROSADO (SBMS) EM MOSSORÓ-RN. 2024).

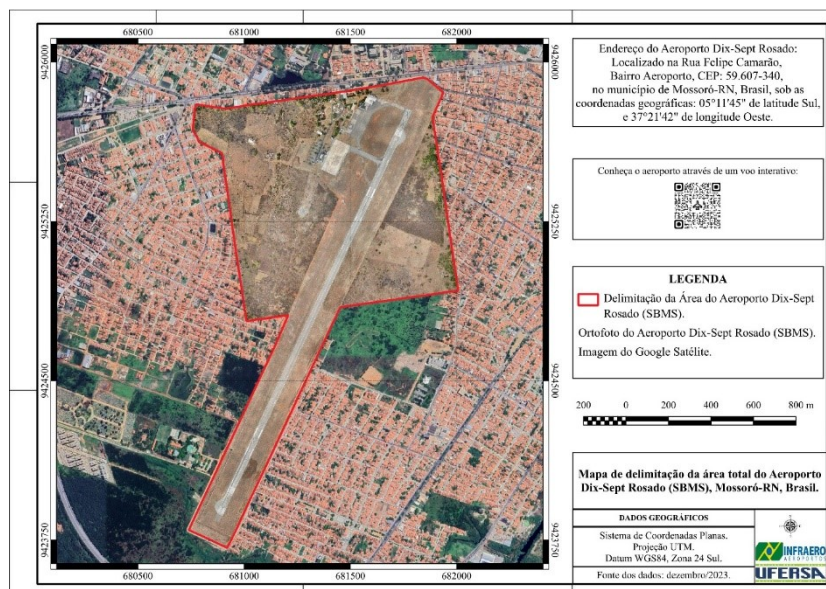


Figura 2. Mapa de situação delimitando a área total do Aeroporto Dix-Sept Rosado (SBMS) de Mossoró-RN, Brasil (Fonte: APOIO TÉCNICO NA ELABORAÇÃO DE ORTOFOTOS DE AERONAVES REMOTAMENTE PILOTADAS (RPA) PARA O MAPEAMENTO DO SÍTIO DO AEROPORTO DIX-SEPT ROSADO (SBMS) EM MOSSORÓ-RN. 2024).

O mapeamento do sítio do aeroporto utilizando geoprocessamento envolveu a coleta e análise de dados geoespaciais para criar representações precisas da infraestrutura aeroportuária. Este processo permitiu monitorar as condições das pistas, terminais e outras instalações, facilitando a identificação de necessidades de manutenção e melhorias.

3.2. Equipamentos e softwares utilizados para coleta de dados

Para a aplicação das geotecnologias e a execução da coleta de dados do Aeroporto Dix-Sept Rosado (SBMS), localizado em Mossoró-RN, fez-se uso de um GPS RTK, o qual possibilitou medições exatas e em tempo real, enquanto a aeronave remotamente pilotada (RPA)/drone permitiu a captura de imagens aéreas e a geração de ortomosaicos, contribuindo para um levantamento detalhado da área. Juntos, esses recursos tecnológicos proporcionaram uma abordagem eficiente e moderna para o mapeamento e análise da infraestrutura do aeroporto, garantindo a qualidade e a confiabilidade das informações coletadas.

O modelo de GPS utilizado foi o CHC i73 (Figura 3), que é um receptor GNSS RTK de alta precisão, projetado para atender a diversas aplicações em topografia, mapeamento, monitoramento e agricultura de precisão.



Figura 3. Maletas com os equipamentos de GPS RTK CHC i73. (Fonte: *Shanghai Apeksstool Optoelectronic Technology Co.*).

Com relação à Aeronave Remotamente Pilotada/drone - RPA utilizada, utilizou-se um drone do modelo Mavic Air 2, da fabricante DJI (Figura 4), devidamente registrada na Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) no número PP-030274002.

De acordo com o manual do fabricante (DJI, 2024) [10], o referido drone utilizado pesa apenas 570 gramas, tem uma velocidade máxima de voo de 68 km/h e um tempo máximo de voo de 34 minutos, com um alcance máximo de transmissão de 10 km, e sensores por detecção por infravermelho e sistemas visuais frontal, traseiro e inferior. Possui uma câmera com estabilizador triaxial e sensor de 1/2", podendo gravar vídeos em 4K/60 fps e tirar fotos de 48 MegaPixel.



Figura 4. Modelo de RPA desmontado utilizado no levantamento topográfico do Aeroporto Dix-Sept Rosado (SBMS) de Mossoró-RN, Brasil.

(Fonte: APOIO TÉCNICO NA ELABORAÇÃO DE ORTOFOTOS DE AERONAVES REMOTAMENTE PILOTADAS (RPA) PARA O MAPEAMENTO DO SÍTIO DO AEROPORTO DIX-SEPT ROSADO (SBMS) EM MOSSORÓ-RN. 2024).

A plataforma e aplicativo de smartphone utilizado para executar o voo na pesquisa foi o Drone Harmony [11]. A escolha deste aplicativo se deu pelo fato de ser gratuito e de fácil entendimento para o usuário médio. Ao acessar a plataforma online do Drone Harmony, procedeu-se com a seleção da área de interesse, importando um arquivo no formato *Keyhole Markup Language* (.KML) que continha a poligonal da área total, bem como de 10 subáreas específicas dentro do aeroporto de Mossoró. Com base nessas informações, foram elaborados 10 planos de voo independentes (Figura 5).

É importante destacar que as subáreas foram estrategicamente segmentadas de forma a garantir que todas possuísem a mesma extensão, resultando em aproximadamente 12,69 hectares (ha) cada, como demonstrado na Figura 5. Essa padronização visou otimizar o processo de mapeamento, assegurando uniformidade na coleta de dados e facilitando o processamento posterior das imagens obtidas.

O modelo de grade de voo selecionado no catálogo de planos da plataforma foi o “Top-Down” (Cima-Baixo), que é especialmente recomendado para mapeamentos bidimensionais (2D). Para cada plano de voo das subáreas, foram definidos os pontos específicos para a decolagem e o pouso do drone, garantindo que todas as etapas do levantamento estivessem devidamente planejadas.

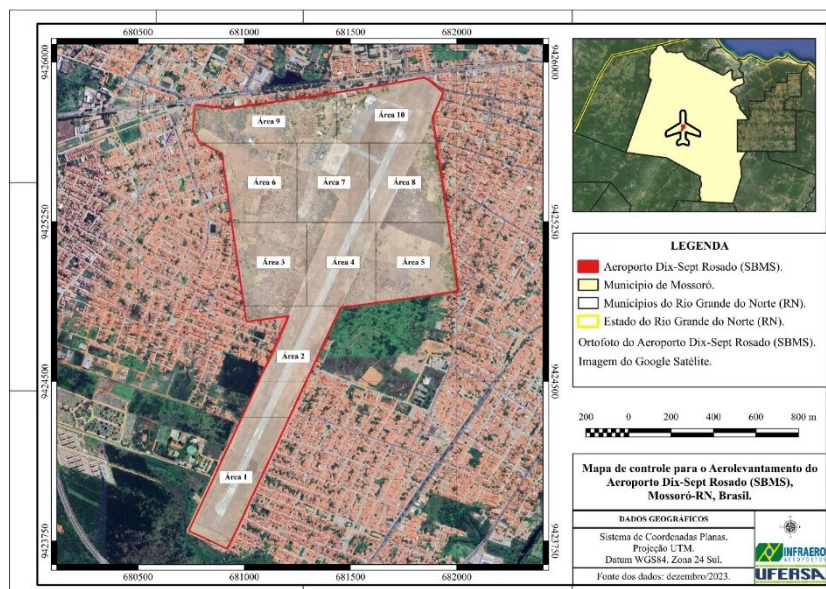


Figura 5. Mapa do plano de voo das subáreas do Aeroporto Dix-Sept Rosado (SBMS) de Mossoró-RN, Brasil. (Fonte: APOIO TÉCNICO NA ELABORAÇÃO DE ORTOFOTOS DE AERONAVES REMOTAMENTE PILOTADAS (RPA) PARA O MAPEAMENTO DO SÍTIO DO AEROPORTO DIX-SEPT ROSADO (SBMS) EM MOSSORÓ-RN. 2024).

3.2. Planejamento de voo

O levantamento aéreo foi realizado no Aeroporto de Mossoró, cobrindo uma área de 128,2 hectares. Para garantir a qualidade das imagens, o percurso do drone foi configurado adequadamente. Foram desenvolvidos planos de voo automatizados, permitindo que o drone seguisse um trajeto pré-programado sem intervenção do operador. Parâmetros importantes, como altura de voo, sobreposição de imagens, velocidade e resolução, foram considerados para garantir a qualidade final. A janela temporal também influencia a qualidade das imagens, pois horários específicos do dia minimizam o sombreamento, facilitando o georreferenciamento preciso dos dados.

Foram configuradas a altitude e a velocidade padrão para todos os planos de voo. Com essas configurações, o sistema forneceu uma estimativa prévia do tempo total de voo, da distância a ser percorrida e dos pontos de passagem previstos, correspondendo ao número de imagens que seriam capturadas durante cada sobrevoo. Esses parâmetros foram estabelecidos com base nos limites operacionais definidos para as condições da operação, incluindo: altitude máxima de 100 metros; recobrimento lateral e frontal de 70%; velocidade de voo de 5,0 m/s; e a utilização de, no máximo, uma bateria para a conclusão de cada missão/plano de voo. Além disso, priorizou-se a escolha de dias com condições meteorológicas favoráveis (céu limpo, ventos fracos e ausência de precipitação) para minimizar possíveis distorções nas imagens capturadas.

3.3. Preparação dos equipamentos para execução dos planos de voo

A captura de imagens deve ser realizada em horários com boa incidência solar para minimizar efeitos de sombras e melhorar a qualidade dos dados obtidos (COLOMINA; MOLINA, 2014) [12]. O levantamento topográfico foi realizado em um dia ensolarado, já que dias nublados ou chuvosos afetam o desempenho dos equipamentos e o voo do RPA, além de interferir nas operações do aeroporto.

Antes do sobrevoo, foi montado o equipamento GNSS RTK com a ajuda de um tripé, nivelado para garantir a precisão. Em áreas abertas, a triangulação de sinais entre a base, rover e coletora é mais precisa. O equipamento foi conectado via bluetooth para iniciar a coleta de sinais. Marcas no solo usadas como alvos, como um 'X', foram feitas para auxiliar no georreferenciamento das imagens, permitindo correções durante o processamento.

A coleta de dados e o mapeamento foram executados com sucesso no dia 16 de dezembro de 2023, aproveitando as condições climáticas ideais para garantir a precisão e qualidade do levantamento.

3.4. Aquisição de imagens

Foram feitos 10 voos para cobrir todo o sítio do aeroporto. Ao levantar voo, um indivíduo da equipe ficou responsável por manusear o controle se orientando pelo visor do controle, enquanto o outro analisando o percurso do drone até onde fosse possível identificar a olho nu.

Nas configurações de voo de sobreposição, ficou garantido uma taxa de sobreposição lateral de 70% e uma taxa de sobreposição frontal também de 70%, gerando uma maior quantidade de imagens, aumentando assim a sobreposição e consequentemente melhorando a qualidade do produto final.

Mediante ao que foi citado acima, as configurações utilizadas foram próximas ao que diz a literatura para fins de fotogrametria. No Quadro 1 é mostrado algumas configurações e tempo de voo que preencheram todo o mapeamento do sítio do Aeroporto de Mossoró.

3.5. Processamento de imagens

Posteriormente, após ter corrigido a base e os pontos de controle e verificação, foi utilizado o software *Agisoft Metashape* v1.5 [13] para realizar o processamento das imagens coletadas pelo drone. Nessa etapa do processo é feito o apontamento dos alvos para poder georreferenciar as imagens, podendo assim gerar um alinhamento de todas as imagens. Inicialmente, foi preciso converter as imagens adicionadas para o Sistema de Referência de Coordenadas - SRC local e oficial do Brasil, o qual é o SIRGAS 2000, com sistema de coordenadas planas, projeção cartográfica Universal Transversa de Mercator – UTM, Zona 24Sul; posteriormente foi preciso filtrar as imagens que se adequam aos padrões de qualidade que os produtos necessitariam, excluindo assim, imagens com qualidade abaixo de 0,70 para que não comprometa a qualidade final do ortomosaico.

Em seguida, a aplicação de máscaras fora essencial, pois servem para isolar ou ocultar áreas específicas das imagens, indicando ao software quais partes devem ou não ser consideradas durante o processamento. Isso é especialmente útil em situações onde elementos indesejados ou irrelevantes estão presentes nas fotos e podem interferir na qualidade dos resultados.

Para criar um ortomosaico de alta precisão no Agisoft Metashape, utiliza-se um fluxo de trabalho meticuloso que começa com a importação das imagens obtidas em campo, as quais contêm dados de GPS embutidos para alinhamento inicial. Em seguida, os pontos de controle (GCPs), previamente coletados e corrigidos por meio de processamento Post-Processed Kinematic (PPK), são adicionados ao projeto para servir como referências georreferenciadas, essenciais para aumentar a precisão espacial do modelo final. Esses pontos são manualmente identificados e apontados em várias imagens, reforçando o georreferenciamento. Após a inserção dos GCPs, realiza-se o alinhamento das imagens, onde o software identifica pontos em comum entre as capturas para formar uma nuvem de pontos esparsa, proporcionando uma estrutura inicial do modelo. Esse alinhamento é ajustado em um processo de otimização da nuvem de pontos, que inclui a remoção de discrepâncias ou erros de projeção que poderiam comprometer a qualidade do modelo. Posteriormente, é gerada uma nuvem de pontos densa, na qual cada pixel das imagens contribui para um modelo de alta resolução e densidade, fundamental para análises geotécnicas.

Com a nuvem densa pronta, é possível gerar um Modelo Digital de Superfície (MDS), que representa a elevação da área, incluindo objetos como edificações e vegetação. A partir da nuvem densa, uma malha 3D é construída e texturizada com as imagens, resultando em um modelo visualmente realista. O ortomosaico é então criado projetando as imagens georreferenciadas sobre a superfície modelada. Finalmente, o ortomosaico e os modelos derivados são exportados para serem aplicados em análises específicas, como as geotécnicas, garantindo precisão e qualidade visual.

Os produtos foram exportados no formato GeoTIFF e, para a análise e classificação dos componentes que compõem a área do aeroporto de Mossoró-RN, utilizou-se o software de Sistema de Informações Geográficas (SIG) gratuito e de código aberto QGIS [14], na versão 3.28.14. No ambiente do QGIS, o Sistema de Referência de Coordenadas (SRC) foi configurado para a projeção cartográfica Universal Transversa de Mercator (UTM), com coordenadas planas, utilizando o Datum geocêntrico global WGS84, zona 24, hemisfério sul, com o código EPSG: 32724.

Para delimitar os contornos externos, a área total e categorizar os elementos que compõem o aeroporto de Mossoró, foi empregada a ferramenta de vetorização do QGIS (Ferramentas de Criação e Edição de Camadas Vetoriais). Esta ferramenta permitiu a criação de polígonos, linhas e/ou pontos para representar cada classe temática diretamente sobre o ortomosaico, ajustando o zoom para capturar detalhes precisos e modificando os vértices conforme necessário, resultando na criação de arquivos vetoriais no formato *Shapefile* (.SHP).

Além disso, foram gerados dados tabulares com informações descritivas e quantitativas, possibilitando a quantificação das áreas correspondentes a cada categoria. Adicionalmente, com base no Modelo Digital de Elevação (MDE) no QGIS, foi possível extrair informações topográficas do aeroporto de Mossoró-RN, incluindo altitudes do terreno, inclinações, perfis de superfície e curvas de nível. Por fim, foram elaborados mapas temáticos com os resultados obtidos, incluindo layouts para impressão e tabelas que apresentavam os valores de cada classe analisada durante o período de estudo no Aeroporto Dix-Sept Rosado (SBMS) de Mossoró-RN.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Produtos gerados

A partir da coleta, análise e processamento dos dados geoespaciais obtidos por meio do aerolevanteamento e da aplicação de geotecnologias, foi possível desenvolver uma série de mapas temáticos detalhados que representaram as diferentes características e componentes presentes no Aeroporto Dix-Sept Rosado (SBMS), em Mossoró-RN.

Além do mapa de localização e do ortomosaico previamente mencionados e apresentados, foram elaborados mapas que destacam aspectos específicos, como a distribuição das instalações, as zonas de segurança, as áreas de estacionamento, o perfil topográfico, entre outros elementos essenciais para a gestão e operação do aeroporto. Esses mapas temáticos fornecem uma visão abrangente e detalhada da infraestrutura, auxiliando na tomada de decisões e no planejamento estratégico do local.

Ressalta-se que foi possível gerar um ortomosaico do Aeroporto Dix-Sept Rosado com um Ground Sample Distance (GSD) de 5,0 cm/pixel, o que resultou em imagens de excelente qualidade e alto nível de detalhamento, evidenciando uma elevada resolução espacial. O GSD, que pode ser traduzido como "distância de amostragem do solo", refere-se ao tamanho de cada pixel representado nas imagens obtidas durante um levantamento fotogramétrico, geralmente medido em centímetros. Em relação ao Modelo Digital de Elevação (MDE) produzido, obteve-se um GSD de 23,0 cm/pixel.

Embora os planos de voo sigam uma padronização na execução, houve variação no tempo de cada voo. No Quadro 1, é possível observar que, em alguns casos, os tempos foram semelhantes, mas na maioria das vezes houve discrepâncias significativas. Essas variações podem ser atribuídas às condições climáticas do local, especialmente à ação dos ventos, que influenciam diretamente a velocidade e a estabilidade da aeronave ao aumentar a resistência do ar.

Quadro 1. Quadro de voos executados para o aerolevanteamento do Aeroporto Dix-Sept Rosado em Mossoró-RN

Identificação da Subárea	Área (ha)	Altitude de voo (m)	Recobrimento Lateral e Frontal (%)	Velocidade de voo (m/s)	Tempo de Voo (minutos e segundos)	Nível da bateria ao pousar (%)
1	12,69	100,00	70	5,00	13'45"	40
2	12,69	100,00	70	5,00	21'05"	17
3	12,69	100,00	70	5,00	17'57"	32
4	12,69	100,00	70	5,00	16'01"	34
5	12,69	100,00	70	5,00	16'37"	34
6	12,69	100,00	70	5,00	18'53"	36
7	12,69	100,00	70	5,00	15'09"	40
8	12,69	100,00	70	5,00	18'25"	34
9	12,69	100,00	70	5,00	16'49"	36
10	12,69	100,00	70	5,00	16'30"	36
Total	126,88	-	-	-	-	-

(Fonte: APOIO TÉCNICO NA ELABORAÇÃO DE ORTOFOTOS DE AERONAVES REMOTAMENTE PILOTADAS (RPA) PARA O MAPEAMENTO DO SÍTIO DO AEROPORTO DIX-SEPT ROSADO (SBMS) EM MOSSORÓ-RN. 2024).

4.2. Representação das classes temáticas

Primeiramente, foi realizada a identificação e distinção dos diversos elementos que compõem o Aeroporto Dix-Sept Rosado, localizado em Mossoró-RN, categorizando-os de acordo com suas características, funções e importância operacional. Cada componente, como pistas de pouso, hangares, terminais, áreas de estacionamento, e zonas de segurança, foi vetorizado e classificado com o objetivo de criar mapas temáticos precisos, abrangendo tanto a infraestrutura essencial do aeroporto quanto as áreas adjacentes e de suporte (Figura 6). Essa classificação detalhada é fundamental para o planejamento eficiente das operações e para a gestão das áreas do aeroporto, assegurando uma organização adequada de todos os aspectos que influenciam sua funcionalidade.

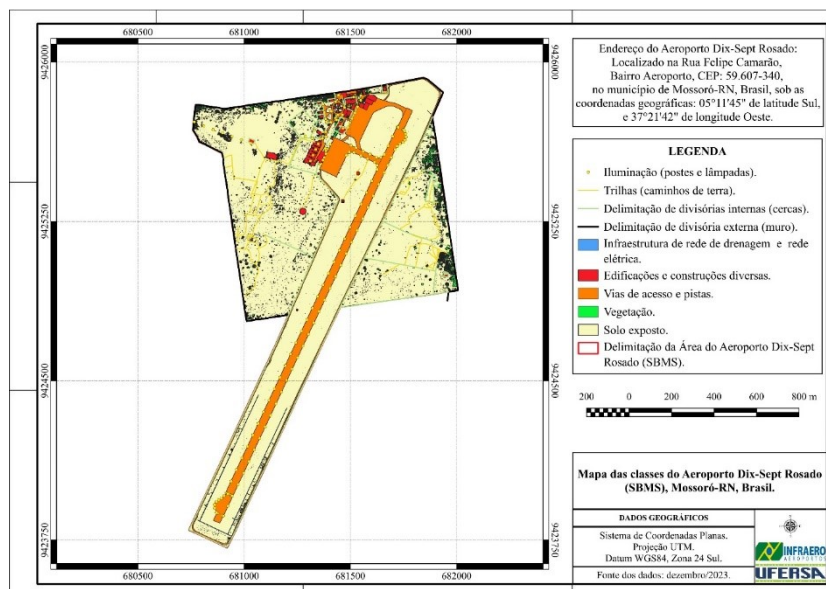


Figura 6. Mapa das classes temáticas delimitadas no Aeroporto Dix-Sept Rosado em Mossoró-RN.
(Fonte: APOIO TÉCNICO NA ELABORAÇÃO DE ORTOFOTOS DE AERONAVES REMOTAMENTE PILOTADAS (RPA) PARA O MAPEAMENTO DO SÍTIO DO AEROPORTO DIX-SEPT ROSADO (SBMS) EM MOSSORÓ-RN. 2024).

Como vias (41,52%) são essenciais para a movimentação no aeroporto, essa classe provavelmente precisará ser mantida ou estendida em futuras expansões. As edificações (6,74%) também possuem extrema importância, sendo passíveis de expansões, visto que abrangem desde a funcionalidade operacional, até a experiência do usuário e a imagem do aeroporto. A classe definida como Solo exposto (37,25%) ocupa uma quantidade significativa de espaço, mas esse tipo de área poderia ser potencialmente convertida para outros usos se houver necessidade de mais espaço operacional, como ampliação de terminais, hangares ou pistas, porém, sem deixar a área arborizada comprometida.

Se o aeroporto for expandido para aumentar sua capacidade, como por exemplo a ampliação de terminais ou áreas de suporte técnico, isso exigirá uma expansão nessa classe. Demais classes não obtiveram alguma contabilização significativa porque foram produzidos como shapefiles em formatos de pontos e/ou linhas, como destacado no Quadro 2.

Quadro 2. Classes temáticas do Aeroporto Dix-Sept Rosado em Mossoró-RN.

ÁREAS INTERNAS			
Classes	Área (m2)	Área (ha)	Área (%)
Edificações e Construções diversas	22943,40	2,29	6,74
Vegetação	46129,10	4,61	13,54
Solo exposto	126880,00	12,69	37,25
Infraestrutura	3264,66	0,33	0,96
Iluminação	-	-	-
Vias	141419,00	14,14	41,52
Trilhas	-	-	-
Divisórias Internas	-	-	-
Divisórias Externas	-	-	-
Total	340636,16	34,06	0,00

(Fonte: APOIO TÉCNICO NA ELABORAÇÃO DE ORTOFOTOS DE AERONAVES REMOTAMENTE PILOTADAS (RPA) PARA O MAPEAMENTO DO SÍTIO DO AEROPORTO DIX-SEPT ROSADO (SBMS) EM MOSSORÓ-RN. 2024).

4.3. Representação do Modelo Digital de Elevação (MDE) e curvas de nível.

Em relação às variações de altitude do terreno no Aeroporto Dix-Sept Rosado, a Figura 7 apresenta o Modelo Digital de Elevação (MDE), destacando as diferenças nos níveis altimétricos. Esse modelo fornece uma representação detalhada da topografia local, permitindo visualizar claramente as variações de elevação em toda a extensão do aeroporto. A utilização do MDE é essencial para análises mais aprofundadas, como o planejamento de obras, a gestão das áreas e a avaliação de possíveis impactos ambientais ou operacionais decorrentes das características do relevo.

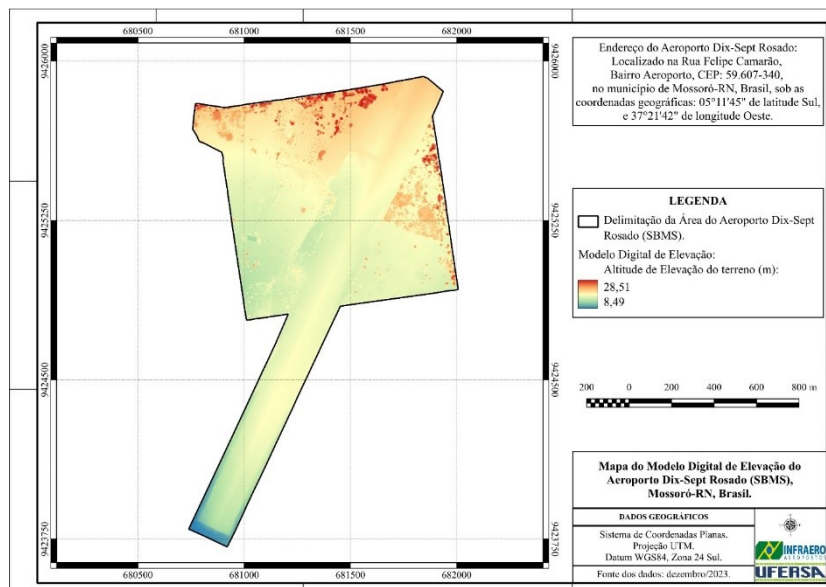


Figura 7. Representação do Modelo Digital de Elevação (MDE) do Aeroporto Dix-Sept Rosado em Mossoró-RN.
(Fonte: APOIO TÉCNICO NA ELABORAÇÃO DE ORTOFOTOS DE AERONAVES REMOTAMENTE PILOTADAS (RPA) PARA O MAPEAMENTO DO SÍTIO DO AEROPORTO DIX-SEPT ROSADO (SBMS) EM MOSSORÓ-RN. 2024).

Já as curvas de nível do terreno do Aeroporto Dix-Sept Rosado foram geradas com um intervalo regular de 0,50 metros, permitindo uma visualização precisa das variações altimétricas na área. Na Figura 8, essa representação topográfica é exibida, destacando os diferentes níveis de elevação presentes no local. A escolha desse intervalo possibilitou uma análise detalhada do relevo, essencial para o planejamento de infraestrutura, drenagem e outras intervenções, permitindo ajustes mais precisos em obras de terraplenagem e sistemas de drenagem, além de auxiliar na compreensão das características geoespaciais que podem influenciar a operação e a segurança do aeroporto.

Ao sul do sítio do aeroporto se tem a menor cota registrada (8,49m) e de forma gradativa, há um crescimento de cota indo no sentido norte, onde, na região pós-cabeceira da pista e entrada do aeroporto possuem os maiores picos de elevação (28,51 m). A diferença de cota de 20,02 metros ao longo da extensão da pista pode resultar em uma inclinação perceptível. Isso pode afetar diretamente as operações de pouso e decolagem, pois uma pista inclinada exige ajustes nos procedimentos operacionais, como ângulo de descida, velocidade de aproximação, e frenagem durante o pouso.

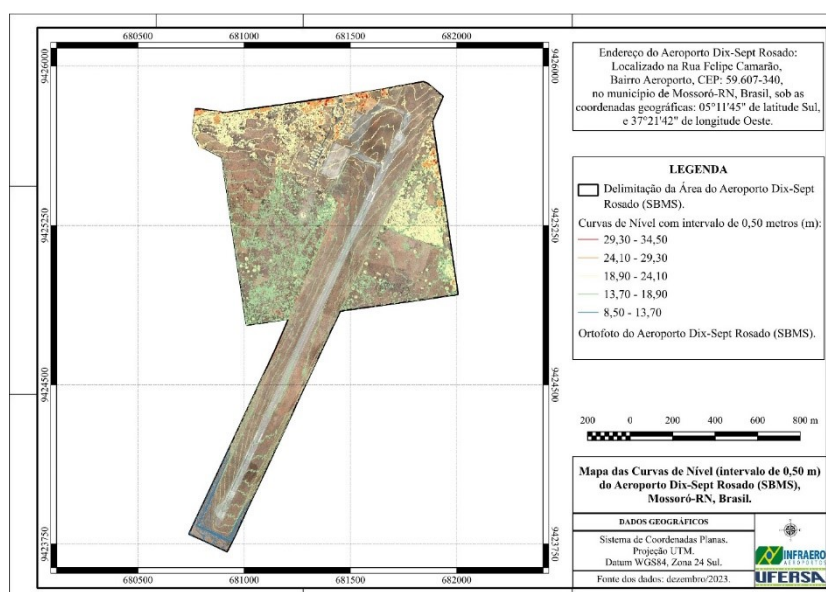


Figura 8. Representação das curvas de nível do Aeroporto Dix-Sept Rosado em Mossoró-RN.

(Fonte: APOIO TÉCNICO NA ELABORAÇÃO DE ORTOFOTOS DE AERONAVES REMOTAMENTE PILOTADAS (RPA) PARA O MAPEAMENTO DO SÍTIO DO AEROPORTO DIX-SEPT ROSADO (SBMS) EM MOSSORÓ-RN. 2024).

Embora haja uma diferença de cota considerável no terreno, há uma regularidade na ascensão desse número, onde, nos locais cruciais (maior fluxo), não há diferença discrepante de cota que possa vir a prejudicar o andamento operacional do aeroporto. A maior discrepância está nas regiões laterais, distante do ponto central do saguão e pistas, nas regiões de mata e solo abertos.

Na Figura 9 é possível observar a representação integrada do ortomosaico e do Modelo Digital de Elevação (MDE) da pista de decolagem e pouso do Aeroporto Dix-Sept Rosado (SBMS). Juntas, essas duas representações proporcionam informações cruciais para o planejamento e a gestão das operações aeroportuárias, permitindo identificar áreas críticas, como inclinações acentuadas e possíveis obstáculos, além de facilitar a tomada de decisões informadas em projetos de expansão e melhoria da infraestrutura.

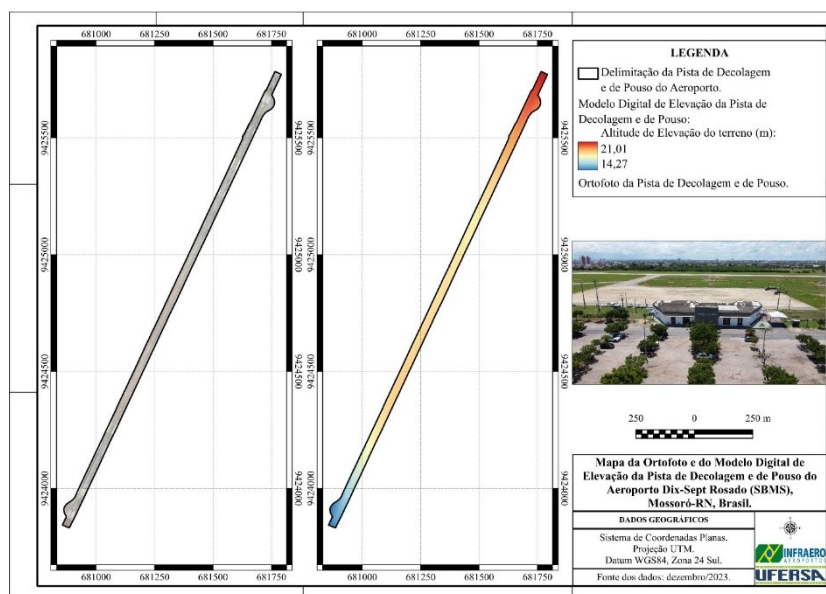


Figura 9. Mapa do ortomosaico e do Modelo Digital de Elevação (MDE) da pista de decolagem e de pouso do Aeroporto Dix-Sept Rosado em Mossoró-RN.

(Fonte: APOIO TÉCNICO NA ELABORAÇÃO DE ORTOFOTOS DE AERONAVES REMOTAMENTE PILOTADAS (RPA) PARA O MAPEAMENTO DO SÍTIO DO AEROPORTO DIX-SEPT ROSADO (SBMS) EM MOSSORÓ-RN. 2024).

Isso se traduz em uma inclinação total que pode ser considerada segura para a maioria das operações de aeronaves comerciais. Para entender se a inclinação é aceitável, é importante calcular a inclinação percentual com base no comprimento da pista. Por exemplo, se a pista tiver um comprimento total de 1.000 metros, a inclinação total de 6,73 metros (21 m - 14,27 m) representaria uma inclinação de aproximadamente 0,673%. Essa inclinação está dentro dos limites aceitáveis estabelecidos pelas normas, visto que a extensão da pista do aeroporto de Mossoró é de 1.900m.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir do estudo realizado, fica evidente a relevância e a aplicabilidade do geoprocessamento na gestão e operação de áreas aeroportuárias, como demonstrado no mapeamento do Aeroporto Dix-Sept Rosado, em Mossoró-RN. A utilização de técnicas avançadas, como a geração de ortomosaicos e modelos digitais de elevação, permitiu uma análise detalhada e precisa das infraestruturas e das condições do terreno, fornecendo informações essenciais para a manutenção, planejamento e gestão segura do aeroporto.

A pesquisa demonstrou como a integração entre academia universitária e comunidade, através de parcerias com órgãos como a INFRAERO, pode gerar resultados significativos, beneficiando tanto a formação profissional dos estudantes quanto a qualidade dos serviços públicos oferecidos à população. Assim, iniciativas como estas são essenciais para o avanço sustentável e seguro de infraestruturas críticas, como aeroportos, e reforçam a importância do uso contínuo e aprimorado das geotecnologias no planejamento urbano e regional.

O mapeamento realizado no Aeroporto Dix-Sept Rosado (SBMS), localizado no Município de Mossoró-RN, resultou em um levantamento abrangente e detalhado de todas as suas infraestruturas. Foram gerados mapas

temáticos, juntamente com dados tabulares que foram organizados e digitalizados, garantindo fácil acesso e atualização por parte da administração do aeroporto, que é gerida pela INFRAERO.

Verificou-se que as Vias (41,52%) e o Solo Exposto (37,25%) dominam a maior parte do terreno, indicando uma infraestrutura que já ocupa uma grande área. Já as Edificações e Construções Diversas (6,74%) representam uma pequena porcentagem da área total. Essa contribuição se mostrou vital para a gestão e manutenção das operações do aeroporto, assegurando um funcionamento seguro e eficiente. Essa eficiência é de suma importância para o desenvolvimento econômico tanto do município de Mossoró quanto da região circundante. Além disso, a ação de extensão ampliou as oportunidades de colaboração entre as instituições envolvidas, o que pode resultar em novas e mais significativas parcerias no futuro. No caso, essa cooperação envolve a INFRAERO e a Universidade Federal Rural do Semiárido (UFERSA), com potencial para explorar diversas áreas de atuação que ainda estão sendo definidas.

Paralelamente, essa ação contribuiu significativamente para a operação segura e eficiente do aeroporto, que é um componente estratégico para o desenvolvimento econômico da região, facilitando o fluxo de pessoas e mercadorias e impulsionando setores-chave como o turismo, a indústria e o comércio local. Ao combinar inovação tecnológica com educação prática, a iniciativa fortalece tanto a infraestrutura quanto a formação de mão de obra qualificada, promovendo um impacto positivo no crescimento sustentável de Mossoró e áreas adjacentes.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] CAMPBELL J. B.; WYNNE R. H., 2011. Introduction to Remote Sensing: fifth edition. Páginas 217-232. Disponível em: <https://www.elsevier.com/locate/cities>. Acesso em: outubro de 2024.
- [2] LILLESAND, T.; KIEFER, R.W.; CHIPMAN, J., 2015. Remote Sensing and Image Interpretation. 7ª edição. Páginas 428-437. Disponível em: <https://www.scrip.org/>. Acesso em: outubro de 2024.
- [3] JENSEN J. R., 2007. Remote Sensing of the Environment: An Earth Resource Perspective. Páginas 400-408. Disponível em: <https://macl-ustm.digitallibrary.co.in/>. Acesso em: 21/10/2024.
- [4] COLOMINA, I., & MOLINA, P., 2014. Unmanned Aerial Systems for Photogrammetry and Remote Sensing: A Review. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. Página 81-90. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/>.
- [5] BATTY M., 2005. Cities and Complexity. Páginas 289-310. Disponível em: <https://www.elsevier.com/locate/cities>.
- [6] CAMPBELL J. B.; WYNNE R. H., 2011. Introduction to Remote Sensing: fifth edition. Páginas 500-520. Disponível em: <https://www.elsevier.com/locate/cities>. Acesso em: outubro de 2024.
- [7] INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Diretoria de Pesquisas - DPE, Coordenação de População e Indicadores Sociais - COPIS. Informações do município: Mossoró. Rio de Janeiro: 2023. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/v4/brasil/rn/mossoro/panorama>. Acesso em: agosto de 2023.
- [8] EMPRESA BRASILEIRA DE INFRAESTRUTURA AEROPORTUÁRIA (INFRAERO). Aeroporto Municipal Dix Sep Rosado – Mossoró RN, Brasília-DF: 2023 Disponível em: <https://www4.infraero.gov.br/aeroporto-mossoro/>. Acessado em: agosto de 2023.
- [9] MINISTÉRIO DE PORTOS E AEROPORTOS, Portaria Nº 415, de 28 de setembro de 2023. Dispõe sobre a atribuição, à Infraero, da exploração do Aeroporto Dix-Sept Rosado (SBMS), em Mossoró/RN. Disponível em: < [h_ps://super.transportes.gov.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&acao_origem=documento_conferir&lang=pt_BR&id_orgao_acesso_externo=0](https://super.transportes.gov.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&acao_origem=documento_conferir&lang=pt_BR&id_orgao_acesso_externo=0)>, informando o código verificador 7596669 e o código CRC 9F669179. Acesso em: Janeiro de 2024.
- [10] DJI: 2024. Disponível em: <https://www.dji.com/br/support/product/mavic-air-2>: Acesso em: outubro de 2024.
- [11] Drone Armony: 2024. Disponível em: <https://dronearmony.com>: Acesso em: outubro de 2024.
- [12] COLOMINA, I., & MOLINA, P., 2014. Unmanned Aerial Systems for Photogrammetry and Remote Sensing: A Review. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. Página 83. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/>.
- [13] AGISOFT METASHAPE: 2024. Disponível em: <https://www.agisoft.com/>. Acesso em: outubro de 2023.
- [14] QGIS: 2024. Disponível em: https://qgis.org/pt_BR/site. Acesso em: 16/10/2024.
- [15] MOURA DA SILVA, Paulo Cesar. COELHO, D.C.L. PROJETO: APOIO TÉCNICO NA ELABORAÇÃO DE ORTOFOTOS DE AERONAVES REMOTAMENTE PILOTADAS (RPA) PARA O MAPEAMENTO DO SÍTIO DO AEROPORTO DIX-SEPT ROSADO (SBMS). Mossoró: 2023.