



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO ENGENHARIAS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

DANIEL CORCINO TAVARES

**DESENVOLVIMENTO DE METODOLOGIA PARA LEVANTAMENTO
TOPOGRÁFICO COM APLICAÇÃO EM PAVIMENTAÇÃO URBANA**

MOSSORÓ

2023

DANIEL CORCINO TAVARES

**DESENVOLVIMENTO DE METODOLOGIA PARA LEVANTAMENTO
TOPOGRÁFICO COM APLICAÇÃO EM PAVIMENTAÇÃO URBANA**

Trabalho Final de Graduação apresentado a
Universidade Federal Rural do Semi-Árido
como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Paulo César Moura da
Silva

MOSSORÓ

2023

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

T231 Tavares, Daniel Corcino Tavares.
 DESENVOLVIMENTO DE METODOLOGIA PARA
 LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO COM APLICAÇÃO EM
 PAVIMENTAÇÃO URBANA / Daniel Corcino Tavares
 Tavares. – 2023.
 45 f. : il.

 Orientador: Paulo César Moura da Silva Moura.
 Monografia (graduação) – Universidade Federal
 Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia Civil,
 2023.

 1. Topografai. 2. Aerofotogrametria. 3.
 Georreferenciamento. I. Moura, Paulo César Moura
 da Silva, orient. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Biblioteca Campus Mossoró / Setor de Informação e Referência
Bibliotecária: Keina Cristina Santos Sousa e Silva
CRB: 15/120

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

DANIEL CORCINO TAVARES

**DESENVOLVIMENTO DE METODOLOGIA PARA LEVANTAMENTO
TOPOGRÁFICO COM APLICAÇÃO EM PAVIMENTAÇÃO URBANA**

Trabalho Final de Graduação apresentado a
Universidade Federal Rural do Semi-Árido
como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil.

Defendida em: 14 / 10 / 2023.

BANCA EXAMINADORA

**PAULO CESAR MOURA
DA SILVA**

Assinado digitalmente por PAULO CESAR MOURA DA SILVA:

DN: CN=PAULO CESAR MOURA DA SILVA, OU=UFERSA -
Universidade Federal Rural Do Semi-Arido, O=ICPEdu, C=BR
Razão: Eu sou o autor deste documento.
Localização: sua localização de assinatura aqui
Data: 2023.10.20 22:46:37-03'00'
Foxit PDF Reader Versão: 11.0.0

Paulo César Moura da Silva, Prof. Dr. (UFERSA)
Presidente

**DANIELA DA COSTA LEITE
COELHO**

Assinado de forma digital por DANIELA
DA COSTA LEITE COELHO
Dados: 2023.10.20 22:53:46 -03'00'

Daniela da Costa Leite Coelho, Profa. Dra. (UFERSA)
Membro Examinador



Documento assinado digitalmente
ANTONIO ALDISIO CARLOS JUNIOR
Data: 21/10/2023 09:35:50-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Antônio Aldisio Carlos Junior, Dr. (UFERSA)
Membro Examinador

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pelo dom da vida e pela graça que foi derramada sobre mim. Por ter me resgatado e justificado através do seu Filho Jesus Cristo que morreu em meu lugar. Pela fé que foi renovada em mim a cada dia permitindo vencer os obstáculos que surgiram durante essa jornada.

Agradeço a minha esposa Sabrina Holanda, por ter me apoiado e estado ao meu lado em momentos de felicidade e de dificuldade. Sendo parte integrante e primordial do meu sucesso acadêmico. Por me animar em ocasiões de tristeza e ser o porto seguro que preciso para continuar lutando por nossa família.

Agradeço aos meus pais Fábio Henrique e Elizabete Corcino, que nunca me abandonaram, ensinaram valores e me corrigiram quando necessário exercendo de forma exemplar o papel de pai e mãe. Muitas vezes se sacrificando para que eu e meu irmão tivéssemos a oportunidade que não tiveram, também proporcionando conselhos valiosos que nos guiam em nossa caminhada.

Agradeço ao meu irmão Tiago Corcino por estar ao meu lado durante minha vida e ser um amigo verdadeiro para todas as ocasiões.

Agradeço ao meu amigo Ítalo John que fiz durante o período acadêmico e que tanto me ajudou nas diferentes fases dessa jornada. Aos demais amigos pelo companheirismo e por tornarem o percurso na UFESA mais leve.

Agradeço ao Professor Paulo César por ser um grande incentivador do meu desenvolvimento acadêmico e profissional estando disponível para repassar seus conhecimentos e enriquecer minha vivência na universidade. Sem ele a minha trajetória acadêmica não teria sido tão proveitosa e valiosa.

Agradeço a Secretaria de Programas e Projetos Estratégicos do Município de Mossoró-RN, na pessoa do Professor Almir Mariano e do Engenheiro Pedro David, por me proporcionar a oportunidade de estagiar nessa repartição, adquirindo conhecimentos e aplicando a metodologia deste trabalho.

Agradeço a Banca Examinadora pela disponibilidade em contribuir com a melhoria deste projeto e com a minha formação acadêmica.

“Aprendi o segredo de viver contente em toda e qualquer situação, seja bem alimentado, seja com fome, tendo muito, ou passando necessidade. Tudo posso naquele que me fortalece”.

Paulo de Tarso (Filipenses 4.12,13)

RESUMO

A topografia possui uma longa história que remonta às civilizações egípcias e mesopotâmicas, em que era usada para demarcar terras e planejar construções. No século XIX, a topografia se tornou crucial para a expansão das ferrovias e planejamento urbano. Hoje, com tecnologias como o GPS, desempenha um papel fundamental em várias áreas. Em Mossoró, a topografia é essencial devido ao crescimento não planejado e ao rápido desenvolvimento urbano, exigindo levantamentos precisos para planejar projetos de pavimentação, georreferenciar equipamentos públicos e promover um desenvolvimento ordenado. Contudo, os métodos tradicionais utilizados no município, atualmente, são lentos e ultrapassados, quando muitas vezes inexistentes, limitando, assim, a análise urbana. Portanto, esse trabalho tem como objetivo desenvolver e apresentar uma metodologia de levantamento topográfico para o município de Mossoró, visando melhorar a qualidade e eficiência dos projetos de pavimentação. Essa metodologia consiste em utilizar técnicas de georreferenciamento utilizando GNSS e aerofotogrametria para descrever a via quanto a sua topografia e elementos urbanos. Foi aplicada a metodologia desenvolvida em uma rua e obteve-se resultados coerentes que atendem aos objetivos do estudo, como curvas de nível e ortomosaico georreferenciado.

Palavras-chave: Topografia. Aerofotogrametria. Georreferenciamento.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	- Equipamentos tradicionais da topografia	15
Figura 2	- Imagens da Rua Francisco das Chagas do Carmo	24
Figura 3	- Equipamentos utilizados no presente estudo para coleta de dados planialtimétricos	26
Figura 4	- Fluxo de processamento para construção de ortomosaico georreferenciado	28
Figura 5	- Detalhe do ortomosaico georreferenciado	33
Figura 6	- Alvos de papelão utilizados para auxiliar o apontamento	34
Figura 7	- Visão dos alvos nas imagens	34
Figura 8	- Precisoões do ortomosaico	35
Figura 9	- Ortomosaico georreferenciado e pontos coletados	36
Figura 10	- Vetorização da via de estudo	37
Figura 11	- Detalhe da vetorização	37
Figura 12	- Curvas de nível	38
Figura 13	- Detalhe das curvas de nível	38

LISTA DE MAPAS

Mapa 1	-	Mapa de localização do município de Mossoró – RN	22
Mapa 2	-	Mapa de localização da Rua Francisco das Chagas do Carmo	23
Mapa 3	-	Detalhe da via de estudo	25

LISTA DE QUADROS

Quadro 1	-	Especificações técnicas da aeronave remotamente pilotada Phantom 4 RTK, fabricante DJI	27
Quadro 2	-	Especificações do computador usado no processamento das imagens obtidas em levantamento de campo	28
Quadro 3	-	Quantidade de pontos por categoria	31
Quadro 4	-	Estatística da altitude dos dados coletados	32

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

PPP Posicionamento por ponto preciso

VANT Veículo aéreo não tripulado

RPA Remotely Piloted Aircraft

PC Ponto de controle

PV Ponto de verificação

IBGE Instituto brasileiro de geografia e estatística

NBR Norma Brasileira

ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas

GPS Global Positioning System

GNSS Global Navigation Satellite System

MDS Modelo Digital de Superfície

MDT Modelo Digital de Terreno

GLONASS Global (orbiting) Navigation Satellite System

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	Objetivos	15
1.1.1	Objetivo geral	15
1.1.2	Objetivos específicos	15
2	REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1	Topografia	16
2.2	Georreferenciamento	17
2.3	Aerofotogrametria	18
2.4	Pavimentação	19
2.5	Tipo de pavimentação usuais no Brasil	20
3	METODOLOGIA	22
3.1	Área de estudo	22
3.2	Via onde será aplicada a metodologia	23
3.3	Equipamentos utilizados	25
3.4	Softwares utilizados	27
3.5	Apresentação dos resultados	28
3.6	Metodologia de levantamento utilizada	29
4	RESULTADOS	31
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	39
	REFERÊNCIAS	40
	APÊNDICE A – PASSO A PASSO DA METODOLOGIA	
	DESENVOLCIDA	42

1 INTRODUÇÃO

A topografia tem raízes antigas, usada por egípcios e mesopotâmicos para demarcar terras e planejar canais. No Renascimento, na Europa, tornou-se uma disciplina organizada, impulsionada pela matemática e instrumentos de medição. No século XVII, René Descartes introduziu sistemas cartesianos para mapas detalhados. No século XIX, a topografia foi crucial para ferrovias, urbanismo e explorações (Bernucci et al, 2022). Hoje, com tecnologia moderna como satélites e GPS, é essencial para planejamento urbano, engenharia e gestão de recursos naturais, especialmente na construção de estradas. Cada região exige projetos de topografia personalizados devido a características geográficas e geológicas únicas, garantindo eficiência e segurança.

Mossoró, como cidade em constante crescimento e desenvolvimento urbano, apresenta características específicas que reforçam a necessidade de levantamentos topográficos detalhados e específicos para projetos de pavimentação na zona urbana. Uma dessas características é a presença de ruas completamente urbanizadas, porém carentes de um pavimento adequado às necessidades locais, seja em termos de pavimento asfáltico ou pedra poliédrica.

Esse cenário demanda levantamentos topográficos personalizados para avaliar as condições atuais dessas vias, identificar as irregularidades e planejar intervenções que atendam às demandas de mobilidade urbana e garantam a segurança e o conforto da população.

Além disso, o rápido desenvolvimento urbanístico observado em alguns locais da cidade de Mossoró é outra característica marcante. Áreas que estão experimentando crescimento notório carecem de infraestrutura viária adequada para atender à crescente demanda populacional e econômica. Logo levantamentos topográficos específicos são essenciais para planejar e implementar projetos de pavimentação que atendam a essas áreas em desenvolvimento, promovendo o acesso adequado e a expansão sustentável da cidade.

Outro ponto relevante no crescimento do espaço urbano, é que muitas vezes supera a capacidade dos sistemas públicos de registro e georreferenciamento. Equipamentos públicos, como postes, bueiros e outros elementos de infraestrutura, precisam ser devidamente georreferenciados para que o planejamento de pavimentação leve em consideração sua localização e evite conflitos durante a execução dos projetos. Portanto, os levantamentos topográficos desempenham um papel fundamental na identificação e georreferenciamento desses equipamentos, contribuindo para o desenvolvimento ordenado da cidade.

Mossoró possui uma alta demanda de levantamentos topográficos na cidade, o que exige um método de levantamento rápido e eficiente para atender às crescentes necessidades de planejamento e infraestrutura.

Atualmente, os métodos de levantamento topográfico utilizados em Mossoró são caracterizados por serem lentos e ultrapassados diante das novas tecnologias que surgem a cada dia no mercado, envolvendo o uso de equipamentos tradicionais, como estação total, nível e teodolito. Esses métodos demandam um tempo significativo em campo e, posteriormente, um extenso fluxo de processamento de dados, o que limita a eficiência e a agilidade na obtenção das informações topográficas necessárias para os projetos de pavimentação.

Além disso, outra limitação observada é a ausência do uso de aerofotogrametria para levantamento cadastral e análise urbana na cidade. A falta desse método moderno dificulta a realização de estudos abrangentes da área de interesse para os projetos de pavimentação. O uso da aerofotogrametria permite a obtenção de dados geoespaciais detalhados de forma mais eficaz, contribuindo para uma análise completa e precisa do ambiente urbano e facilitando o planejamento da obra.

Em suma, as características específicas de Mossoró, que incluem ruas urbanizadas sem pavimentação adequada, áreas em desenvolvimento urbano, necessidade de georreferenciamento de equipamentos públicos, alta demanda por levantamentos topográficos na cidade e das limitações dos métodos tradicionais destacam a real necessidade da realização de levantamentos topográficos personalizados, modernizar e otimizar as práticas de coleta de dados topográficos para projetos de pavimentação na zona urbana. Os processos de modernização e otimização são fundamentais para melhoria da infraestrutura viária, promover a mobilidade urbana e garantir um crescimento urbano sustentável e ordenado do município.

Nesse contexto, é imperativo o desenvolvimento de uma metodologia eficiente que possa tornar o levantamento topográfico para projetos de pavimentação mais ágil, preciso e capaz de atender às demandas específicas da área urbana da cidade de Mossoró. Tal abordagem é fundamental para enfrentar os desafios apresentados pelas características singulares da cidade, como a necessidade de pavimentação em ruas já urbanizadas, o acompanhamento do crescimento urbano e o georreferenciamento de equipamentos públicos.

O estabelecimento de uma metodologia aprimorada não apenas beneficiaria a infraestrutura viária da cidade, mas também contribuiria para uma gestão mais eficaz do espaço urbano, promovendo o desenvolvimento sustentável e a qualidade de vida da população mossoroense. Portanto, a busca por essa metodologia representa um passo significativo na

direção de uma cidade mais moderna, eficiente e adaptada às necessidades de sua população em constante crescimento.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Desenvolver e apresentar uma metodologia sistemática de levantamento topográfico adaptado às características locais do município de Mossoró, visando aprimorar a qualidade e eficiência dos projetos de pavimentação.

1.1.2 Objetivos específicos

- Verificar eficácia dos equipamentos e metodologia proposta, incluindo a escolha adequada de técnicas de levantamento, instrumentos topográficos e software de processamento de dados.
- Propor diretrizes e recomendações para a implementação da metodologia de levantamento topográfico sistematizada em projetos futuros de pavimentação no município.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Topografia

Segundo a NBR 13133:2021 levantamento topográfico é o emprego de métodos para determinar as coordenadas topográficas de pontos, relacionando-os com os detalhes, visando à sua representação planialtimétrica em escala predeterminada e à sua representação altimétrica por intermédio de curvas de nível, com equidistância também predeterminada e/ou com pontos cotados.

A relevância da topografia no contexto da engenharia é inquestionável. No planejamento e execução de qualquer projeto, compreender os elementos do ambiente natural e as estruturas humanas existentes é de suma importância. Esse conhecimento é essencial não apenas para a concepção da obra, mas também para sua posterior implementação de forma eficaz (Tuler e Saraiva, 2014).

Um dispositivo amplamente utilizado ao longo do tempo para levantamento topográfico é o teodolito apresentado na Figura 1, um instrumento utilizado na mensuração precisa de ângulos, tanto na horizontal quanto na vertical. O teodolito é cuidadosamente posicionado no ponto de referência e nivelado em relação ao terreno circundante, permitindo a medição precisa de ângulos. Essas medições podem ser obtidas de maneira manual, por meio da leitura de escalas graduadas, ou de forma automatizada, usando instrumentos de medição digital.

Figura 1 – Equipamentos tradicionais da topografia



Fonte: Imagens da internet

Quando se trata de medir distâncias, são empregados dispositivos conhecidos como diastímetros. Os mais tradicionais incluem as trenas manuais convencionais (Figura 1), que apresentam marcações em metros e centímetros para garantir medições precisas. Além disso,

os diastímetros digitais têm ganhado ampla aceitação devido à sua capacidade de medir distâncias com uma precisão ainda maior (Castelhano, 2021).

Um dispositivo mais contemporâneo e amplamente empregado é a estação total (Figura 1), que, de maneira geral, pode ser caracterizada como um aparelho que combina as funcionalidades de um teodolito eletrônico e um diastímetro digital em um único instrumento. Dessa forma, é possível realizar a medição tanto da distância quanto da angulação de um ponto cotado utilizando apenas um único dispositivo (Castelhano, 2021).

Os avanços tecnológicos na área de levantamento planialtimétrico têm sido notáveis ao longo das últimas décadas. Mais recentemente, observa-se o desenvolvimento de equipamentos que se baseiam em constelações de satélites para realizar um posicionamento planialtimétrico preciso, conhecidos como sistemas de navegação global por satélites, ou Global Navigation Satellite Systems (GNSS). Essa inovação representa uma solução que oferece não apenas alta exatidão, mas também facilidade de uso e acessibilidade para uma ampla gama de usuários (Molin, 2015).

É importante ressaltar que, em seu início, os GNSS foram concebidos principalmente para fins bélicos. No entanto, sua implantação revolucionou profundamente os métodos de localização em todo o mundo. Ao eliminar a necessidade de recursos terrestres complexos e caros, esses sistemas democratizaram o acesso à precisão geoespacial.

O impacto mais significativo dos GNSS foi na área de levantamento planialtimétrico. Essa tecnologia transformou fundamentalmente a maneira como os estudos nessa área são conduzidos. Agora, os levantamentos planialtimétricos são realizados de forma mais rápida e precisa. Os GNSS tornaram-se amplamente aplicados na topografia moderna, consolidando-se como um dos métodos mais avançados e eficazes de levantamento disponíveis atualmente. Sua influência no campo da geodésia e nas atividades relacionadas à cartografia e ao planejamento urbano é inegável, e sua utilidade continua a se expandir à medida que novas aplicações são desenvolvidas e refinadas.

2.2 Georreferenciamento

Georreferenciamento é o processo de associar informações geográficas ou espaciais a objetos, pontos, ou dados em um sistema de coordenadas conhecido. Isso permite que esses objetos ou dados sejam localizados de forma precisa e única na superfície da Terra. O georreferenciamento é fundamental em diversas aplicações, como cartografia, sistemas de informação geográfica (SIG), equipamentos GNSS, mapeamento geodésico, sensoriamento

remoto, navegação e muitos outros campos em que a localização espacial é relevante. É uma ferramenta essencial para garantir a precisão e a confiabilidade das informações geoespaciais (Melo et al, 2014).

O georreferenciamento desempenha um papel de grande relevância nos levantamentos topográficos, promovendo um significativo avanço nessa área. Ele simplifica substancialmente a coleta de informações relacionadas ao espaço-objeto sob investigação, resultando em uma redução considerável no tempo necessário para realizar os levantamentos. Além disso, também confere uma precisão milimétrica aos dados coletados, contribuindo assim para um aumento substancial na eficiência de todo o processo de levantamento topográfico e se tornando fundamental e indispensável para essa aplicação.

2.3 Aerofotogrametria

Dentre as técnicas de georreferenciamento, mais recentemente vem sendo utilizada a fotogrametria para auxiliar os levantamentos topográficos. Esta técnica tem como principal objetivo a construção de um espaço tridimensional a partir de dados bidimensionais capturados por sensores sem contato direto com a superfície onde se quer fazer a análise. Quando esses sensores são acoplados a veículos aéreos gera-se a necessidade de estudar o comportamento dos mesmos quando colocados nessa condição de fotos aéreas, daí surge o termo aerofotogrametria (Coelho e Brito, 2007)

A fotogrametria é fundamentada na ideia de determinar a interseção de linhas a partir de imagens fotográficas, a fim de medir características do terreno. Anteriormente, essa interseção era calculada manualmente sobre cópias impressas em papel, mas atualmente, esse processo é realizado com o auxílio da equação da colinearidade (Silva, 2015).

A integração das técnicas fotogramétricas com os progressos da análise digital de imagens está impulsionando o desenvolvimento do mercado de imagens digitais obtidas através de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs), ou também chamado de Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPAs). Originalmente concebidos para propósitos militares a partir da década de 1980, esses veículos têm suscitado um surpreendente interesse para aplicações civis, notadamente o mapeamento fotogramétrico de áreas de dimensões relativamente modestas.

As imagens adquiridas por meio de VANTs são processadas utilizando software especializado que engloba as funcionalidades fundamentais da fotogrametria digital. Isto possibilita a realização de operações como a fototriangulação, a medição automatizada de pontos por intermédio de técnicas avançadas e eficazes de correlação e integração de dados, a

criação de Modelos Digitais de Superfície (MDS) e Modelos Digitais de Terreno (MDT), a ortorretificação e a produção de ortomosaicos (Coelho e Brito, 2007).

Para Coelho e Brito (2007), efetuar a transformação de imagens bidimensionais em objetos tridimensionais, é crucial dispor de um conjunto de pontos de controle, que estão representados na superfície em análise. Uma vez posicionados, esses pontos fornecem os parâmetros essenciais relacionar um sistema ao outro. Geralmente, quanto maior o número de pontos de controle disponíveis, mais precisos serão os resultados obtidos. No entanto, é importante considerar a viabilidade econômica ao determinar a quantidade adequada de pontos de controle a serem obtidos.

A principal vantagem da aerofotogrametria reside na sua capacidade de minimizar a necessidade de trabalho de campo para coletar coordenadas dos pontos de interesse, além de reduzir significativamente o tempo necessário para obter esses dados e automatizar processos de construção de modelos tridimensionais georreferenciados.

2.4 Pavimentação

A pavimentação é uma parte fundamental da infraestrutura urbana e rodoviária em todo o mundo. Ela desempenha um papel fundamental na conectividade, mobilidade e acessibilidade, tornando possível o deslocamento eficiente de pessoas e produtos. Ao longo da história, a pavimentação evoluiu significativamente, passando de estradas rudimentares de cascalho e terra batida para sistemas de pavimentação modernos e sofisticados (BERNUCCI et al, 2022).

Os primeiros registros de pavimentação remontam à antiguidade. Civilizações como os romanos, egípcios e gregos já construíram estradas pavimentadas usando pedras, tijolos ou lajes de pedra (HAGEN, 1955). Os romanos, em particular, são conhecidos pelas suas extensas redes viárias pavimentadas, que eram essenciais para a expansão e manutenção do seu império. Suas estradas eram famosas pela durabilidade e engenharia avançada.

Após o colapso do Império Romano, a pavimentação iniciou um período de declínio na Europa Ocidental durante a Idade Média. Muitas estradas romanas caíram em desuso, e as vias pavimentadas eram frequentemente substituídas por trilhas de terra e cascata. No entanto, em algumas partes do mundo, como na China, a pavimentação de estradas continua a ser uma prática comum.

Com o Renascimento, houve um renascimento do interesse na engenharia e infraestrutura. No final da Idade Moderna, países europeus como a França e a Grã-Bretanha

começaram a investir na pavimentação de estradas como meio de melhorar a mobilidade e facilitar o comércio. Isso levou ao desenvolvimento de novas técnicas e materiais de pavimentação, incluindo o uso de pedras britadas e alcatrão.

O século XIX viu avanços significativos na pavimentação, incluindo a introdução do asfalto como um material de pavimentação. Segundo Bernucci (2022) o uso de alcatrão e betume expandiu-se rapidamente, tornando-se uma opção popular para pavimentação de estradas. A criação de máquinas de pavimentação mecânica também acelerou o processo de construção de estradas.

O século XX testemunhou uma revolução na pavimentação, com o surgimento de novos materiais como o concreto asfáltico e o concreto de cimento Portland. Esses materiais provaram ser desenvolvidos e adequados para diversos tipos de tráfego, desde veículos leves até pesados. A pavimentação de rodovias de alta velocidade tornou-se uma prioridade, e sistemas de transporte foram desenvolvidos para prolongar a vida útil das estradas (BITTENCOURT, 1958).

No século XXI, a pavimentação continua a evoluir com a incorporação de tecnologias avançadas. A pavimentação inteligente, que envolve sensores para monitorar o estado das estradas, tornou-se uma realidade. Além disso, a pesquisa e o desenvolvimento de materiais mais sustentáveis e sustentáveis estão em andamento para reduzir os custos de manutenção e minimizar o impacto ambiental.

A história da pavimentação é uma narrativa de evolução constante, desde os caminhos de pedra dos tempos antigos até as rodovias modernas e sustentáveis do século XXI. Essa evolução reflete a busca contínua da humanidade por maneiras mais eficientes e seguras de se deslocar e se conectar.

2.5 Tipos de pavimentação usuais no Brasil

Certamente, o Brasil utiliza diversos tipos de pavimentação em suas estradas e ruas para atender às necessidades variadas do país. Bernucci (2022) explica as diferentes categorias de pavimentação e aqui estão alguns dos tipos de pavimentação mais comuns usados no Brasil:

Pavimentação Asfáltica (Concreto Betuminoso Usinado a Quente - CBUQ): A pavimentação asfáltica é amplamente usada em rodovias e ruas urbanas no Brasil. O asfalto é misturado a quente e aplicado como uma camada uniforme sobre a base da estrada. É conhecido por sua durabilidade e capacidade de resistência ao tráfego pesado.

Pavimentação de Concreto: O concreto é usado em rodovias de alto tráfego e em áreas urbanas onde a durabilidade é essencial. O concreto de cimento Portland é misturado, despejado e nivelado para formar a superfície da estrada. É conhecido por sua resistência e vida útil prolongada.

Paralelepípedos: Embora menos comuns em estradas modernas, os paralelepípedos (pedras retangulares) ainda são usados em algumas áreas urbanas do Brasil, especialmente em locais históricos. Eles criam uma superfície de estrada única e têm um apelo estético.

Bloquetes Intertravados: Bloquetes de concreto intertravados são frequentemente usados em áreas urbanas e calçadas. Eles são resistentes, permitem a drenagem da água e são simples de substituir caso algum esteja danificado.

Pavimentação de Pedras Britadas: É uma pavimentação composta por pedras britadas compactadas. É uma opção econômica e frequentemente utilizada em estradas rurais e secundárias.

Pavimentação Ecológica: Nos últimos anos, o Brasil adotou soluções de pavimentação ecológica, incluindo asfalto-borracha, que incorporam pneus reciclados, e pavimentação permeável, que permitem a drenagem de água da chuva para o solo, reduzindo problemas de enchentes.

Camadas de Bases e Sub-bases: Além do revestimento superior, as estradas são construídas com camadas de base e sub-base, que podem ser compostas de agregados (brita, cascalho), apenas estabilizados ou outros materiais, dependendo das condições locais.

Tratamento Superficial Duplo (TSD): É uma técnica que consiste na aplicação de camadas de ligação e revestimento asfáltico sobre uma base existente. É uma opção econômica para melhorar estradas de baixo tráfego.

Microrrevestimento: Uma técnica de manutenção que envolve a aplicação de uma camada fina de asfalto modificada para melhorar a textura e a aderência da superfície da estrada.

Recapeamento: Em vez de reconstruir uma estrada, muitas vezes é feito um recapeamento, que envolve a remoção da camada superior de asfalto desgastada e a aplicação de uma nova camada.

Pavimentação de Estradas de Terra: Em áreas rurais, estradas de terra são comuns. Eles podem ser tratados com estabilizadores de solo para melhorar a durabilidade e reduzir a poeira.

É importante destacar que a escolha do tipo de pavimentação depende das condições locais, do tráfego esperado e do orçamento disponível. O Brasil tem uma vasta gama de climas

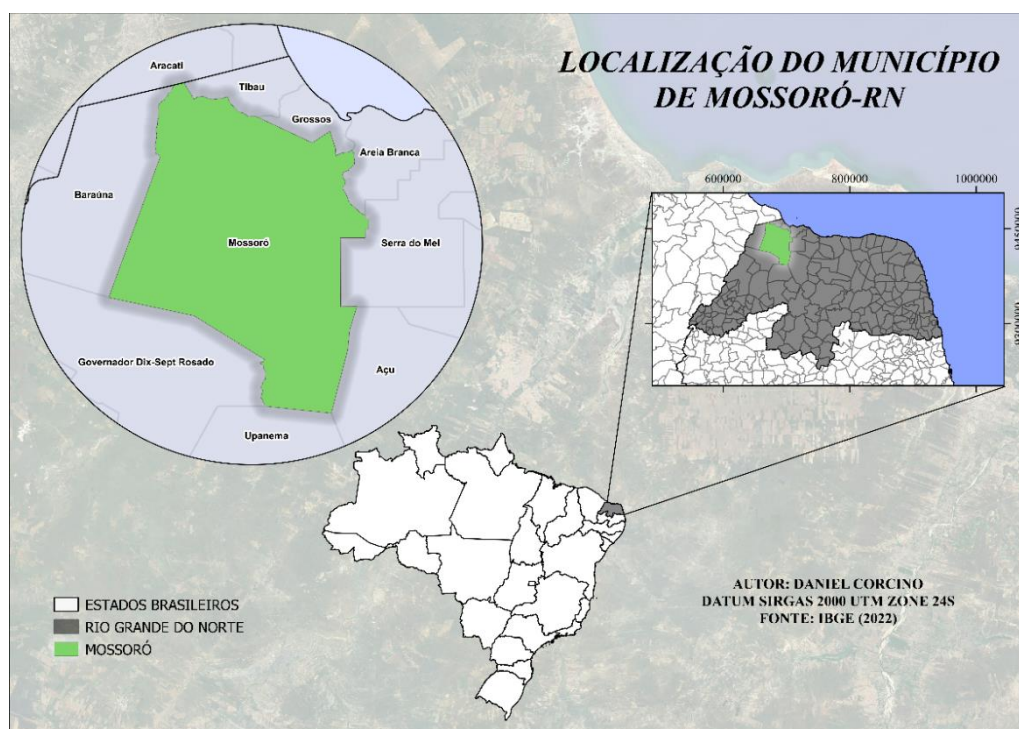
e condições geográficas, o que exige adaptações na escolha de materiais e técnicas de pavimentação em diferentes regiões do país.

3 METODOLOGIA

3.1 Área de estudo

A presente pesquisa foi realizada no estado do Rio Grande do Norte, no município de Mossoró (Mapa 1), localizado na região nordeste do Brasil, pertencente à microrregião de Mossoró e a mesorregião Oeste Potiguar. O município possui uma área territorial de 2.099,334 km² (IBGE, 2022), encontra-se localizado nas coordenadas geográficas 5°10'55,96" de latitude sul e 37°20'52,77" de longitude oeste, e possui 20 metros de altitude acima do nível do mar, em média. O município possui, ainda, uma população estimada de 264.577 habitantes e uma densidade demográfica de 126,03 hab/km² (IBGE, 2022).

Mapa 1 – Mapa de localização do município de Mossoró - RN



Fonte: Autoria própria (2023)

Segundo a classificação climática de Köppen, o clima de Mossoró é do tipo BSwh', ou seja, semiárido muito quente e com estação chuvosa no verão atrasando-se para o outono, apresentando temperatura média de 27,4°C, com precipitação pluviométrica anual muito irregular e com umidade relativa média do ar de 68,9% (ESPÍNOLA et al, 2011)

Mossoró emerge como um cenário de notável urbanização e progresso econômico, caracterizando-se por um processo de desenvolvimento acelerado. Este avanço é

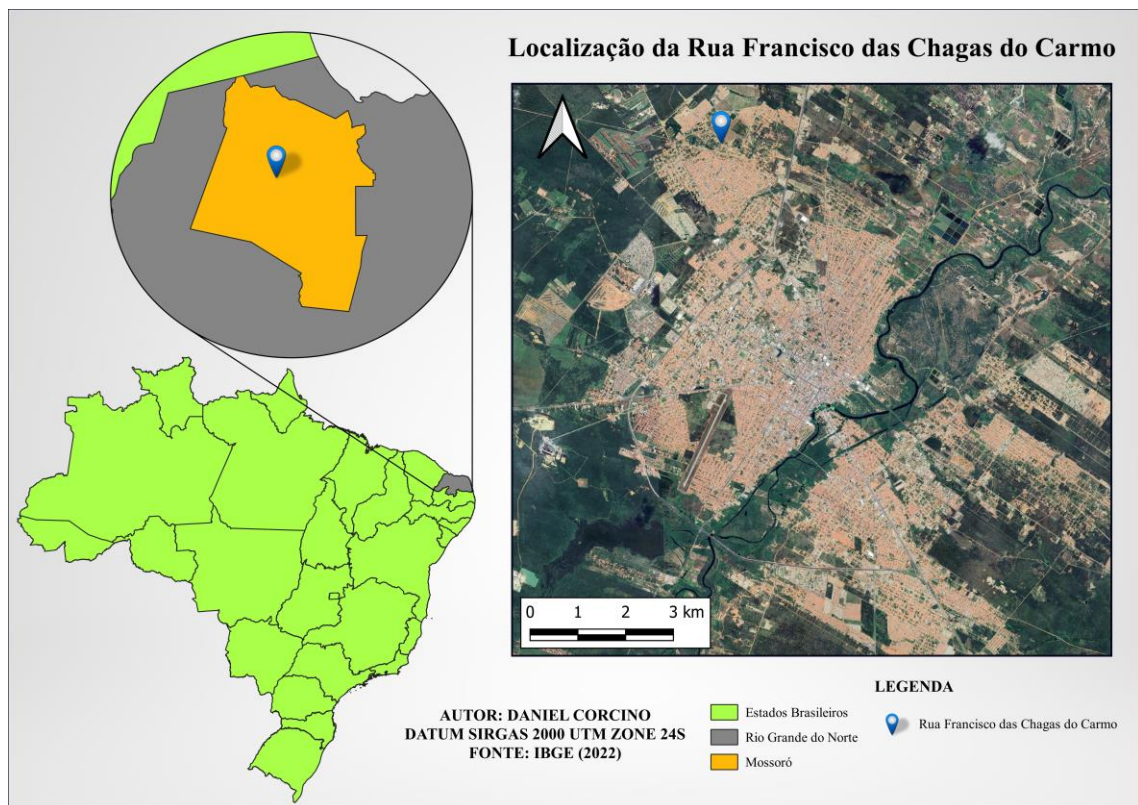
primordialmente impulsionado pelas atividades econômicas diversificadas que florescem no âmbito municipal. Sobressaem-se, nesse contexto, as atividades petrolíferas, salineira, fruticultura irrigada, industrial, alimentícia, habitacional e a produção de artefatos cerâmicos, como principais pilares que estimulam o dinamismo econômico do município. A coexistência dessas múltiplas esferas econômicas contribui de forma substancial para a trajetória de crescimento e modernização experimentada por Mossoró (SALLES et al, 2013).

3.2 Via onde será aplicada a metodologia

A validação de uma metodologia é um passo crucial na pesquisa científica, garantindo sua aplicabilidade e confiabilidade. No contexto deste estudo, foi selecionada uma via pública localizada pelo Mapa 2.

A via escolhida para esta validação possui características que se repetem com frequência na cidade de Mossoró por ter passado por crescimento acelerado em pouco tempo de forma desordenada.

Mapa 2 – Mapa de localização da Rua Francisco das Chagas do Carmo, Mossoró-RN



Fonte: Autoria própria (2023)

A via escolhida para esta validação possui características que se repetem com frequência na cidade de Mossoró por ter passado por crescimento acelerado em pouco tempo de forma desordenada.

A via escolhida é denominada Rua Francisco das Chagas do Carmo, está situada no bairro Santa Delmira. Suas coordenadas são 5°08'44,92" de latitude sul e 37°21'37,94" de longitude oeste. Esta via possui um comprimento total de 796,41 metros.

A escolha desta via se deve ainda à sua localização e extensão, que a tornam representativa de um ambiente urbano que necessita de melhorias de pavimentação. Os problemas de pavimentação que justificam a solicitação do levantamento por parte da Secretaria de Infraestrutura do município podem ser observados na Figura 2, onde são visíveis as grandes depressões e as edificações.

Figura 2 – Imagens da Rua Francisco das Chagas do Carmo



Fonte: Autoria própria (2023)

O Mapa 3, ilustra detalhadamente a Rua Francisco das Chagas do Carmo. Esta representação gráfica é essencial para a visualização das vias no município de estudo e contribui

para uma compreensão mais abrangente do contexto geográfico em que a metodologia está sendo aplicada.

Mapa 3 – Detalhe da via de estudo



Fonte: Autoria própria (2023)

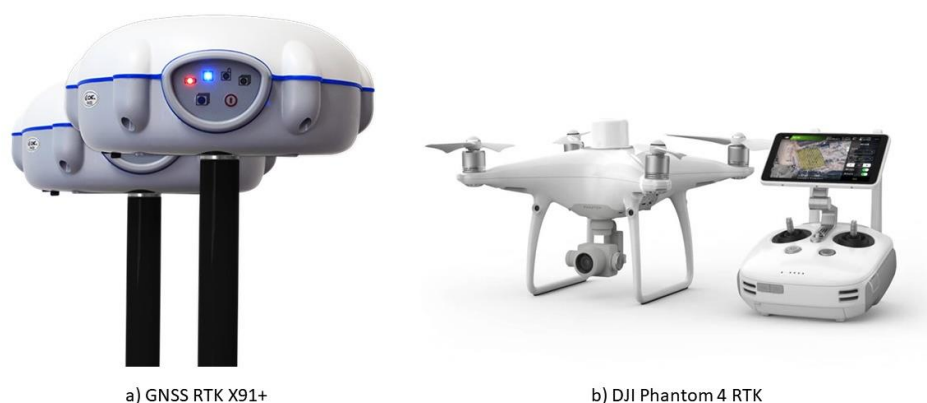
A análise dos dados coletados nessa via contribuirá significativamente para a validação da metodologia desenvolvida neste estudo e aprimorará sua aplicabilidade em futuros projetos de levantamento topográfico para pavimentação e planejamento urbano.

3.3 Equipamentos utilizados

No âmbito da presente pesquisa, a coleta de dados planialtimétricos de elevada precisão foi conduzida empregando o receptor GNSS CHC X91+ (Figura 3). Este equipamento se destaca por apresentar uma precisão horizontal de $3\text{mm} + 0,5\text{ppm}$ e uma precisão vertical de $5\text{mm} + 0,5\text{ppm}$, sendo qualificado para rastrear múltiplos sinais de diferentes sistemas de posicionamentos composto por diversas constelações de satélites, a saber, GPS, GLONASS, SBAS, GALILEO e BeiDou. O GNSS CHC X91+, composto por unidades base e “rover”, foi adicionalmente complementado pela utilização simultânea da unidade coletora HCE320. Além

disso, para aprimorar a extensão da comunicação entre os receptores “*rover*” (móvel) e a base (fixo), recorreu-se ao emprego do rádio externo CHC DL8, que conferiu uma ampliação significativa do alcance comunicativo.

Figura 3 – Equipamentos utilizados no presente estudo para coleta de dados planialtimétricos



Fonte: Manual do produto (2023)

Para a consecução do aerolevanteamento, optou-se pela utilização do drone Phantom 4 RTK (Figura 3) da fabricante DJI, uma aeronave remotamente pilotada de configuração de asa rotativa, especialmente desenvolvida para atender demandas de natureza profissional. Esse veículo aéreo não tripulado destaca-se por sua câmera de alta qualidade, com capacidade de gravação em resoluções 4K e full HD, adequada para aplicações que exigem um alto nível de detalhamento visual.

Adicionalmente, o Phantom 4 RTK possui sensores que permitem mapear o ambiente ao seu redor, possibilitando a detecção e prevenção de potenciais colisões com obstáculos presentes no ambiente. Um controle remoto, equipado com uma tela integrada, proporciona a viabilidade de monitorar em tempo real as imagens capturadas pela câmera.

Antes da realização de cada voo destinado ao aerolevanteamento, são conduzidas verificações detalhadas, abrangendo aspectos como a carga das baterias e do controle remoto, a condição das hélices, a programação da rota de voo, bem como uma análise das condições ambientais presentes no local planejado para o sobrevoo.

Vale ressaltar que apesar do Phantom 4 RTK ter a tecnologia de gerar imagens georreferenciadas utilizando sua base proprietária da fabricante DJI essa função não foi utilizada pois foram empregados os pontos de controle para aerofotogrametria por serem mais confiáveis quanto a sua precisão.

Quadro 1 – Especificações técnicas da aeronave remotamente pilotada Phantom 4 RTK, fabricante DJI

Características	Especificações
Peso	1391g
Máximo tempo de voo	30 minutos
Sensor de câmera	1 "CMOS; pixels efetivos: 20 M
Máxima distância de transmissão	7 km
Potência de transmissão	2,4 GHz
Velocidade máxima	31 mph

Fonte: Adaptado da DJI (2023)

3.4 Softwares utilizados

Neste estudo foi feita a utilização de software especializado para o tratamento dos dados adquiridos durante as atividades de campo, com ênfase no processamento das imagens obtidas por fotogrametria e na espacialização dos pontos coletados por meio do sistema RTK.

Inicialmente, procedeu-se à correção dos pontos obtidos pelo sistema GNSS utilizando o método de Posicionamento por Ponto Preciso (PPP) disponibilizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Essa abordagem permitiu a obtenção de coordenadas planas referenciadas ao sistema de referência SIRGAS 2000, DATUM planimétrico oficial do Brasil, com um alto grau de precisão. O processamento PPP foi realizado por meio do site do IBGE, seguindo os procedimentos recomendados.

Para o processamento das imagens capturadas, foi adotado o software *Agisoft Metashape Professional*, na versão 1.8.2. Esse processamento foi realizado em um computador com as especificações detalhadas no Quadro 2. Através dessa ferramenta, foi possível realizar a construção de um ortomosaico georreferenciado, que representa uma imagem composta e corrigida da área estudada.

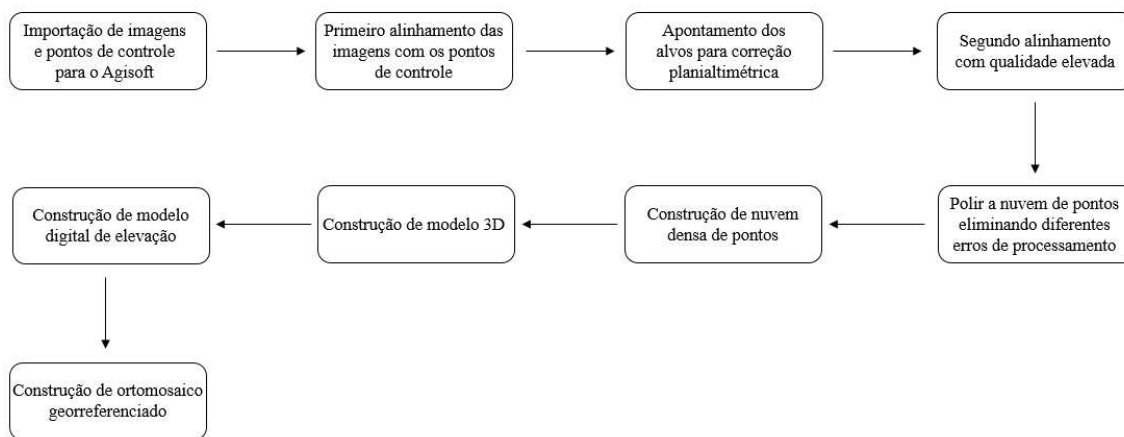
Quadro 2 – Especificações do computador usado no processamento das imagens obtidas em levantamento de campo

Características	Especificações
Processador	AMD Ryzen 9 5950X 16-Core
Placa de Vídeo	AMD Radeon RX 6800 XT
Memória RAM	64GB
Memória	1TB

Fonte: Autoria própria

A Figura 4 apresenta o fluxo que foi seguido para processamento das imagens no *Agisoft Metashape*. Esse passo é importante para gerar o ortomosaico georreferenciado, que se torna possível por meio da utilização dos pontos de controle. Primeiramente foram importadas as imagens e os pontos de controle, logo após é feito o primeiro alinhamento para possibilitar o apontamento de alvos, em seguida foi feito o segundo alinhamento para geração da nuvem densa e refinamento da mesma. Por fim a construção de modelo 3D, do modelo digital de elevação e concluindo com o ortomosaico georreferenciado.

Figura 4 – Fluxo de processamento para construção de ortomosaico georreferenciado



Fonte: Autoria própria (2023)

A espacialização dos dados e a vetorização das quadras e equipamentos públicos foram conduzidas utilizando o software de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) livre e gratuito *QGIS* 3.22. Essa etapa permitiu a criação de representações gráficas dos elementos urbanos identificados, como ruas, quadras e estruturas públicas, contribuindo para a elaboração de mapas temáticos e análises geoespaciais mais detalhadas.

Para geração das curvas de nível e utilização dos dados no software de desenho técnico AutoCad, foi utilizada a ferramenta TOPOCAD. Com ela é possível importar para o AutoCad o ortomosaico georreferenciado e gerar as curvas de nível a partir dos pontos coletados com o GNSS RTK.

O emprego coordenado desses softwares e procedimentos metodológicos possibilitou a integração e análise precisa dos dados coletados, resultando em informações relevantes para atender o objetivo do estudo.

3.5 Apresentação de resultados

Para os órgãos competentes, o produto final resultante das análises e estudos realizados é entregue no formato *DWG*, visando a viabilização de análises posteriores e a implementação de projetos de pavimentação. A utilização desse formato proporciona uma base sólida para a continuidade da investigação e a integração com sistemas de projetos de engenharia.

Neste trabalho, os resultados obtidos serão apresentados de forma abrangente, fazendo uso de recursos visuais como mapas, figuras e imagens. A adoção dessa abordagem visa facilitar tanto o entendimento geral quanto a análise técnica detalhada dos dados e informações coletadas.

3.6 Metodologia de levantamento topográfico utilizada

Esse trabalho é fruto da vivência do autor em seu estágio na equipe de topografia da Secretaria de Programas e Projetos Estratégicos na Prefeitura Municipal de Mossoró a partir das demandas de levantamentos topográficos enviados a equipe pela Diretoria de Pavimentação da Secretaria Municipal de Infraestrutura, Meio Ambiente, Urbanismo e Serviços Urbanos.

A metodologia de levantamento topográfico desenvolvida para este trabalho inicia-se com um aerolevantamento abrangente da área de estudo. Esse levantamento é seguido pela vetorização e análise detalhada dos pontos considerados críticos para a pavimentação.

Os pontos críticos abrangem elementos como bueiros, postes, calçadas, largura das ruas e defeitos no pavimento pré-existente. Esses elementos desempenham um papel fundamental na concepção de projetos de pavimentação eficazes, razão pela qual são minuciosamente analisados.

O aerolevantamento é executado com a utilização de pontos de controle, garantindo a precisão das imagens resultantes. Ao término desse processo, obtém-se um ortomosaico

georreferenciado, permitindo uma verificação precisa dos pontos críticos identificados previamente.

Adicionalmente, a coleta de dados planialtimétricos é realizada com GNSS RTK a intervalos de 20 metros ao longo da área levantada. Esse intervalo é importante para capturar informações cruciais, a cada 20 metros é coletado o ponto inferior e superior das calçadas e três pontos ao longo do eixo longitudinal da via, que fornecem compreensão sobre o escoamento da água pluvial e a conformidade com critérios de drenagem.

Um levantamento cadastral detalhado é conduzido para georreferenciar pontos críticos, como bueiros, postes e árvores, sempre que possível. Isso enriquece os dados e contribui para uma análise completa.

Após as atividades de campo, os pontos coletados são corrigidos usando o PPP do IBGE e, em seguida, o aerolevanteamento é processado no *Agisoft Metashape Professional*. A etapa seguinte envolve a vetorização dos dados, que é realizada com o auxílio do QGIS.

Subsequentemente, as curvas de nível são geradas mediante a utilização da ferramenta TOPOCAD no AutoCAD. Este procedimento representa uma etapa fundamental no processo de análise topográfica e modelagem do terreno, permitindo a representação visual e precisa das variações altimétricas do relevo, as quais desempenham um papel crucial na concepção e implementação de projetos de engenharia e planejamento urbano.

Logo após, os dados são exportados no formato *DWG* para serem utilizados em projetos de pavimentação e compartilhados com os órgãos competentes responsáveis pela infraestrutura urbana, facilitando sua aplicação prática e colaboração eficaz.

Essa metodologia proporciona um conjunto sólido de informações geoespaciais essenciais para o desenvolvimento bem-sucedido de projetos de pavimentação urbana e aprimoramento das infraestruturas das cidades. A metodologia pode ser vista no Anexo A em forma de tópicos para ser utilizada pela equipe de topografia.

4 RESULTADOS

A metodologia foi aplicada na Rua Francisco das Chagas do Carmo, uma via que se destaca por sua urbanização avançada, caracterizada pela presença de numerosas edificações e um considerável fluxo de veículos. Contudo, é importante ressaltar que apesar dessas características, a rua não possui pavimentação adequada, apresentando um estado precário com inúmeras depressões que tornam o tráfego de veículos desafiador.

Ao todo foram coletados 349 pontos utilizando o GNSS RTK, entre esses pontos estão os pontos de controle (PC) do aerolevantamento, pontos denominados “PT” para medição da altimetria ao longo do eixo longitudinal da via, pontos chamados de “Rua” que são coletados na via imediatamente ao lado da calçada, pontos intitulados de “Edificação” que foram coletados na face da edificação. Esses pontos tem o objetivo de serem usados para produzir as curvas de nível.

Além disso, os postes também foram locados para serem levados em consideração no projeto de pavimentação. Foi encontrada uma placa de concreto no chão que provavelmente é uma caixa de inspeção da rede de distribuição da Companhia de Águas e Esgoto do Rio Grande do Norte (CAERN), que foi chamada de “Galeria” e também locada.

O resumo da quantidade de pontos por categoria pode ser observado no Quadro 3, é possível analisar que no total foram coletados 349 pontos que representam bem a superfície estudada. Foram locados todos os pontos necessários para caracterização e estudo topográfico da rua podendo posteriormente ser gerado curvas de nível e banco de dados cadastral da rua.

Quadro 3 – Quantidade de pontos por categoria

QUANTIDADE DE PONTOS	
EDIFICAÇÃO	82
PT	188
PC	2
RUA	75
GALERIA	1
TOTAL	349

Fonte: Autoria própria

Além disso, os postes também foram locados para serem levados em consideração no projeto de pavimentação. Foi encontrada uma placa de concreto no chão referente a uma caixa de inspeção da rede de distribuição da Companhia de Águas e Esgoto do Rio Grande do Norte (CAERN), que foi chamada de “Galeria” e também locada.

Para descrição e melhor entendimento dos dados coletados foi feita uma análise da coordenada Z (cota) dos pontos utilizando a estatística descritiva que pode ser observada no

Quadro 4. Isso é importante para mensurar e compreender como os dados se manifestam em relação a si mesmos como um conjunto, também ajudam a descrever e ter uma ideia inicial da topografia da via e como ela se comporta ao longo de seu eixo transversal.

Quadro 4 – Estatística da altitude dos dados coletados

ESTATÍSTICAS	
MÉDIA	32,269
DESVIO PADRÃO	4,082
MÁXIMO	39,782
MÍNIMO	25,683
MODA	30,956

Fonte: Autoria própria

Todos os dados coletados com o GNSS RTK tiveram uma precisão de 3 casas decimais, tanto as coordenadas X e Y como as coordenada Z, isso confere ao estudo confiabilidade quanto a precisão planialtimétrica.

Como pode ser observado no Quadro 4 os dados de altimetria dos pontos coletados tiveram uma média de 32,269m. Como os dados obtiveram moda de 30,956m conclui-se que existe parte da via que está em uma cota por volta dos 30 metros. Porém ao observar os valores de máximo e mínimo infere-se que existe uma diferença de 14,099m entre os dois valores o que corrobora a conclusão que essa via possui uma irregularidade significativa no terreno. Isso é reafirmado com o desvio padrão que mostra quanto os dados estão distantes da média, então quanto mais próximo de 1 mais próximo da média os dados estão e, portanto, menos dispersos. Sendo assim, com o desvio padrão em 4,082 consolida a ideia que os dados estão dispersos mostrando um terreno relativamente acidentado.

Parte da metodologia é o levantamento aerofotogramétrico que foi feito a partir do VANT DJI Phantom 4 TRK utilizando controle remoto com tela integrada e com o software proprietário da DJI. Foi utilizado 70% de sobreposição lateral e 80% de sobreposição frontal, isso é importante para que as imagens capturadas estejam suficientemente sobrepostas a fim de garantir que cada ponto da área de interesse seja analisado mais de uma vez pelos sensores do VANT e se obtenha um processamento no Agisoft Metashape mais confiável.

O voo foi feito a 110m de altura e com velocidade de 7m/s possibilitando uma captura total de 496 imagens e um pixel de 2,75cm. Essa resolução espacial é satisfatória já que confere ao ortomosaico mais detalhes permitindo uma visualização precisa das características do terreno, o que é de suma importância para o planejamento e projeto de pavimentação. Isso pode ser observado na Figura 5, onde é possível identificar cada calçada e seus limites, assim como os postes e edificações existentes.

Figura 5 – Detalhe do Ortomosaico Georreferenciado



Fonte: Autoria própria (2023)

O primeiro produto gerado no *Agisoft Metashape Professional* é a nuvem de pontos obtida através do primeiro alinhamento das imagens com os pontos de controle. Para esse levantamento foram utilizados 3 pontos de controle (*control point*) que foram apontados manualmente, já que na área de interesse foram utilizados alvos de papelão como pode ser observado na Figura 6 e puderam ser bem observados nas imagens como visto na Figura 7. Também foi utilizado um ponto de verificação (*check point*) que possui as mesmas características dos pontos de controle, mas se diferenciam na sua utilização. Ou seja, enquanto os pontos de controle são utilizados no processamento fotogramétrico os *check points* são utilizados apenas para verificação do produto final funcionando como referência. Sendo assim, a precisão do ponto de verificação será entendida como a precisão final do ortomosaico.

Figura 6 – Alvos de papelão utilizados para auxiliar o apontamento



Fonte: Autoria própria (2023)

Figura 7 – Visão dos alvos nas imagens



Fonte: Autoria própria (2023)

Após indicação dos pontos de controle com o auxílio dos alvos, foi feito o segundo alinhamento das imagens, dessa vez com qualidade elevada. Nesse passo foi gerada a nuvem de pontos corrigida que representam a área levantada, porém para melhor confiabilidade e precisão foi feito um refinamento dessa nuvem utilizando ferramentas disponibilizadas no *Agisoft Metashape Professional* para esse fim. Foram aplicados a correção de erros de projeção, *reconstruction uncertainty* e *projection accuracy* com o objetivo de eliminar pontos da nuvem que fossem incoerentes ou decorrentes de erros no processamento.

Logo após foi utilizado uma tarefa sequencial para processamento automatizado e geração final do ortomosaico georreferenciado. A sequência utilizada foi novamente construção

de nuvem densa, mas dessa vez com o polimento da nuvem de pontos inicial, a construção de modelo a partir da nuvem densa, geração de modelo digital de elevação e por fim o ortomosaico. Para esse produto final é necessário passar por todas as etapas citadas, já que o software trabalha com tarefas que são interligadas e que necessitam umas das outras.

Para análise de resultado final do processamento, o *Agisoft Metashape Professional* gera um relatório com a explicação e detalhamento minucioso de cada passo e de cada parâmetro que foi utilizado. Nesse relatório pode-se observar a precisão planimétrica e altimétrica do ortomosaico, que são de, respectivamente, 4,4281cm e 8,6925cm assim como mostra a Figura 8.

Figura 8 – Precisões do ortomosaico

Número	X error (cm)	Y error (cm)	Z error (cm)	XY error (cm)	Total (cm)
3	0.304758	1.12358	2.1995	1.16418	2.4886

Table 4. Control points RMSE.

X - Easting, Y - Northing, Z - Altitude.

Número	X error (cm)	Y error (cm)	Z error (cm)	XY error (cm)	Total (cm)
1	3.55393	2.64153	8.6925	4.4281	9.75539

Table 5. Check points RMSE.

X - Easting, Y - Northing, Z - Altitude.

Fonte: Relatório de processamento do Agisoft Metashape (2023)

Essa precisão é satisfatória já que a finalidade do ortomosaico é localizar os pontos coletados com o GNSS RTK e identificar as características da via, ele não será utilizado para georreferenciamento de nenhum equipamento urbano ou para geração de dados de altimetria.

A precisão dos pontos que foram utilizados para locação dos equipamentos e para topografia (Figura 9) seguem a precisão do GNSS RTK CHC X91+ que é a de 5mm na vertical e 3mm na horizontal, tornando o levantamento altamente preciso e confiável. Como dito anteriormente os pontos foram coletados a cada 20 metros, sendo presentes de uma face a outra das edificações no eixo longitudinal da via.

Figura 9 – Ortomosaico Georreferenciado e pontos coletados



Fonte: Autoria própria (2023)

Após a construção do ortomosaico e espacialização dos pontos no QGIS foi feita a vetorização da via utilizando os pontos coletados como guia (Figura 10). Esse passo é importante para ajudar quem receberá o projeto a entender como a rua se comporta perante as edificações ao longo de seu eixo transversal assim como facilitar posterior construção de pranchas sem o ortomosaico possibilitando o entendimento.

Figura 10 – Vetorização da via de estudo



Fonte: Autoria própria (2023)

As ruas onde essa metodologia tem o objetivo de ser aplicada tem a característica de terem sido ocupadas de forma desordenada e não é diferente para a Rua Francisco das Chagas do Carmo o que corrobora a importância da vetorização que deixa claro essa evidência. Como por exemplo, no trecho mostrado na Figura 11, devido falta de planejamento urbano e crescimento acelerado as quadras não se encontram alinhadas o que interfere diretamente no projeto de pavimentação.

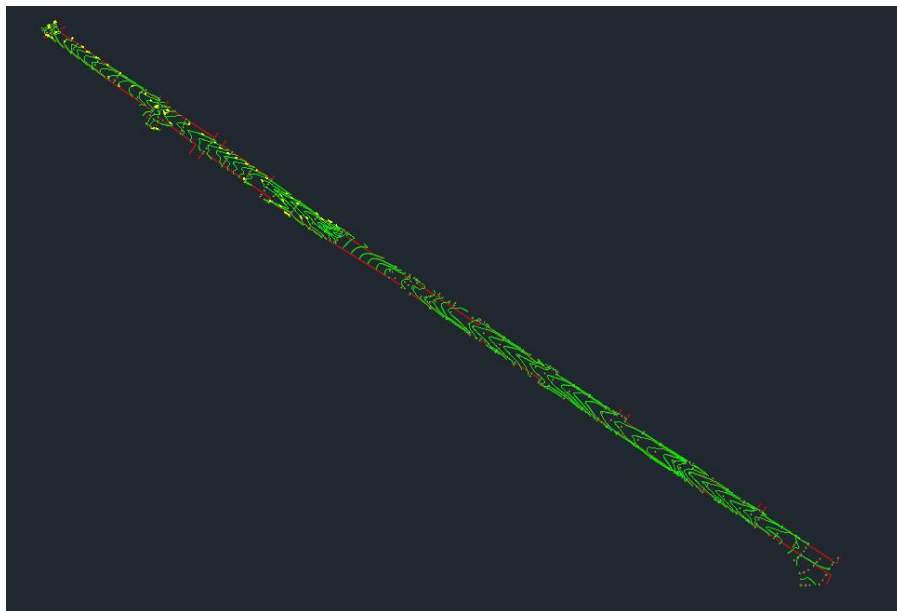
Figura 11 – Detalhe da vetorização



Fonte: Autoria própria (2023)

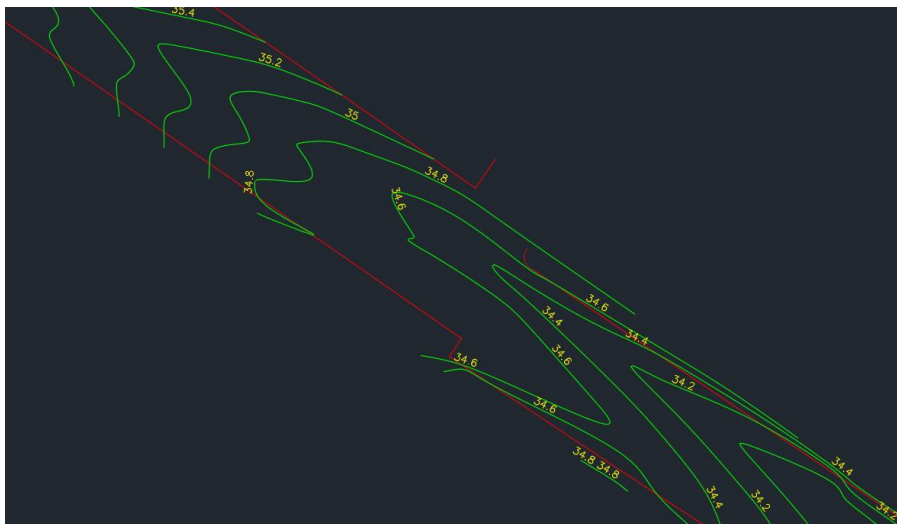
Depois do processamento os pontos foram exportados em formato DXF para serem abertos no AutoCad e serem geradas as curvas de nível utilizando a ferramenta TOPOCAD com o intervalo de 20cm, esse detalhe pode ser visto na Figura 13. Essa ferramenta permite importar o ortomosaico georreferenciado para o AutoCad e também gerar as curvas de nível, essas curvas são calculadas por meio de uma triangulação dos pontos. As curvas podem ser vistas na Figura 12 e nesse formato que foram entregues ao solicitante do levantamento. O formato do arquivo foi mantido em DWG por pedido da secretaria de infraestrutura para uso em outros softwares de dimensionamento.

Figura 12 – Curvas de Nível



Fonte: Autoria própria (2023)

Figura 13 – Detalhe das curvas de Nível



5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A metodologia desenvolvida revelou-se altamente eficaz, uma vez que sua aplicação aconteceu sem intercorrências significativas, e todos os resultados esperados foram obtidos com sucesso. A coleta de pontos georreferenciados revelou-se particularmente precisa e abrangente, proporcionando uma representação fiel da rua em estudo. A quantidade de pontos coletados mostrou-se adequada para a geração das curvas de nível necessárias, demonstrando a robustez da metodologia.

O equipamento utilizado desempenhou um papel crucial no sucesso da pesquisa, uma vez que atendeu plenamente às expectativas estabelecidas, entregando a precisão necessária para projetos de pavimentação. Sua confiabilidade e desempenho ideal constituíram um recurso valioso para a equipe de topografia, garantindo que os resultados fossem confiáveis e prontamente utilizáveis.

Além disso, o desenvolvimento de um manual detalhado para a aplicação e replicação da metodologia criou um recurso valioso para a equipe de topografia da Prefeitura de Mossoró, fornecendo orientações claras e abrangentes para a implementação bem-sucedida da metodologia em futuros projetos. Esse manual não apenas facilitará a disseminação do conhecimento, mas também contribuirá para a melhoria contínua das técnicas de topografia na Prefeitura.

No entanto, é importante ressaltar que a validação e a adaptação da metodologia a diferentes contextos de urbanização e pavimentação são passos essenciais para sua aplicação mais ampla e eficaz. Recomenda-se, portanto, a utilização dessa metodologia em outras ruas, a fim de garantir sua robustez e adequação em diferentes cenários, contribuindo assim para o avanço da topografia urbana e dos projetos de pavimentação no município. Essa abordagem iterativa e colaborativa é fundamental para o progresso contínuo no campo da engenharia civil e da topografia, possibilitando aprimoramentos significativos nas técnicas de levantamento e planejamento urbano.

REFERÊNCIAS

- AGISOFT METASHAPE. Processamento fotogramétrico de imagens digitais e geração de dados espaciais em 3D. Disponível em: <https://www.agisoft.com/>. Acesso em: 10 ago. 2023
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; Sparovek, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v.22, p. 711-728, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13133**: Execução de levantamento topográfico - Procedimento. Rio de Janeiro, 2004.
- BERNUCCI, Liedi Bariani et al. **Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros**. 2ª Edição. Rio de Janeiro: Petrobras, 2022.
- BITTENCOURT, E.R. **Caminhos e estradas na geografia dos transportes**. Rio de Janeiro: Editora Rodovia, 1958.
- BORGES, Alberto de C. **Topografia**. São Paulo: Editora Blucher, 2013. *E-book*. ISBN 9788521207610. Disponível em: <https://app.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521207610/>. Acesso em: 03 set. 2023.
- CASTELHANO, Francisco Jablinski. **Geoprocessamento e topografia aplicados**. 1. ed. São Paulo: Contentus, 2021. *E-book*. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br>. Acesso em: 23 set. 2023.
- COELHO, L.; BRITO, J. **Fotogrametria digital**. 2. ed. Rio de Janeiro: EDUERJ, 2007. 196 p.
- CORRÊA, Iran Carlos Stalliviere. **Topografia aplicada à engenharia civil**. 2021.
- DA SILVA, Daniel Carneiro. Evolução da fotogrametria no Brasil. **Revista Brasileira de Geomática**, v. 3, n. 2, p. 81-96, 2015.
- DNIT (2006). **Diretrizes básicas para elaboração de estudos e projetos rodoviários – Escopos básicos/Instruções de serviço**. Publicação IPR – 726. Ministério dos transportes. Departamento nacional de infra-estrutura de transportes, Instituto de pesquisas rodoviárias.
- HAGEN, V. W. **A estrada do sol**. São Paulo: Edições Melhoramentos, 1955

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Brasil em síntese**. 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/rn/mossoro.html>. Acesso em: 5 ago. 2023.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Recomendações para Levantamentos Relativos Estáticos – GPS**. 2015. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 11 set. 2019.

MELO, Danilo Heitor Caires Tinoco Bisneto et al. Decifrando o georreferenciamento. **Geografia Ensino & Pesquisa**, p. 85-102, 2014.

MOLIN, José Paulo. **Agricultura de precisão**. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2015. E-book. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br>. Acesso em: 25 set. 2023.

SALLES, Maria Clara Torquato; GRIGIO, Alfredo Marcelo; SILVA, Márcia Regina Farias da. Expansão urbana e conflito ambiental: uma descrição da problemática do município de Mossoró, RN-Brasil. **Sociedade & Natureza**, v. 25, p. 281-290, 2013.

SOBRINHO, JOSÉ ESPÍNOLA et al. Climatologia da precipitação no município de Mossoró-RN. Período: 1900–2010. In: **XVII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia**. 2011.

TULER, Marcelo; SARAIVA, Sérgio. **Fundamentos de Topografia: Série Tekne**. Bookman Editora, 2014.

APÊNDICE A – PASSO A PASSO DA METODOLOGIA DESENVOLVIDA

Metodologia de levantamento topográfico para fins de pavimentação em Mossoró

- 1) Escolha da área que deve ser levantada segundo demanda de órgãos competentes
 - a. Deve-se alinhar com o solicitante do levantamento quais as demandas e especificidades que ele deseja para cada local
- 2) Análise da área para decisão onde será colocada a base do RTK e averiguar necessidade de solicitar liberação de voo na região
- 3) Montar a base e configurar o rover com a altura correta da antena fixa e se for o caso conectar rádio externo
- 4) Começar a coletar os pontos com o RTK observando os itens abaixo
 - a. Coletar os seguintes pontos a cada 20 metros
 - i. Face da edificação
 - ii. Calçada inferior
 - iii. Centro da primeira faixa
 - iv. Eixo da via
 - v. Centro da segunda faixa
 - vi. Calçada inferior
 - vii. Face da edificação
 - b. Não coletar ponto com PDOP acima de 4
 - c. Se não houver edificação coletar a mesma quantidade de pontos entrando no terreno adjacente a rua
 - d. Georreferenciar postes, bueiros, caixas de inspeção e qualquer equipamento que pareça permanente no local
 - e. Coletar os pontos de controle tomando cuidado para não mover o alvo
- 5) Espalhar os alvos (pontos de controle) pela área observando se não existe nada próximo que possa atrapalhar o seu imageamento pelo VANT e garantindo que fiquem totalmente fixos durante como levantamento
- 6) Exportar os arquivos de base e os pontos coletados pelo rover para um computador
- 7) Corrigir a base no processamento por ponto preciso (PPP) do IBGE e corrigir demais pontos a partir das novas coordenadas de base
- 8) Processar as imagens no Agisoft Metashape utilizando os pontos de controle corrigidos seguindo os passos abaixo

- a. Salvar o projeto
 - b. Importar as imagens do VANT
 - c. Converter as coordenadas para o SIRGAS 2000 UTM Zone 24S
 - d. Filtrar as imagens para determinar sua qualidade e excluir aquelas com qualidade abaixo de 0,5
 - e. Clicar com botão direito em uma imagem e escolher a opção de importar máscaras para “All cameras”
 - f. Importar pontos de controle RTK
 - g. Alinhar as fotos em precisão baixa
 - h. Clicar com botão direito em um ponto de controle, escolher a opção filtrar fotos por marcador e fazer o apontamento dos pontos de controle utilizando os alvos como referência
 - i. Retirar seleção do ponto de verificação
 - j. Otimizar as câmeras desmarcando todas as opções da janela
 - k. Alinhar as fotos novamente dessa vez com qualidade elevada
 - l. Clicar na opção Model e Seleção Gradual, escolher a opção erro de projeção marcar 10% dos pontos e apagar
 - m. Clicar na opção Model e Seleção Gradual, escolher a opção Reconstruction Uncertainty marcar 400 pontos e apagar
 - n. Clicar na opção Model e Seleção Gradual, escolher a opção Projection Accuracy escolher nível 60 e apagar os pontos selecionados
 - o. Otimizar as câmeras dessa vez marcando as opções f, k1, k2, cx, cy, p1, p2, b1, b2
 - p. No fluxo de trabalho escolher Build Dense Cloud em qualidade elevada
 - q. No fluxo de trabalho escolher Construir Modelo baseado em Dense cloud no mode Height field (2.5D)
 - r. No fluxo de trabalho escolher Build DEM baseado em Mesh
 - s. No fluxo de trabalho escolher Build Ortomosaic com base no DEM
 - t. Exportar o ortomosaico e o relatório de processamento
- 9) Importar os pontos corrigidos e o ortomosaico georreferenciado para o QGIS e fazer a vetorização da rua
 - 10) Exportar os dados para DXF e abrir no AutoCad
 - 11) Utilizar a ferramenta TOPOCAD para gerar as curvas de nível com os intervalos que forem entendidos como ideais para cada situação

- 12) O produto final é o arquivo DWG com o ortomosaico georreferenciado, os pontos com suas coordenadas X, Y e Z, a vetorização da via e as curvas de nível