



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE  
NÚCLEO DE TECNOLOGIA  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

JOSEÂNGELO SANTOS DO NASCIMENTO

**IDENTIFICAÇÃO E ANÁLISE DOS DEFEITOS DO PAVIMENTO ATRAVÉS DE  
IMAGENS COM DRONE**

Caruaru

2023

JOSEÂNGELO SANTOS DO NASCIMENTO

**IDENTIFICAÇÃO E ANÁLISE DOS DEFEITOS DO PAVIMENTO ATRAVÉS DE  
IMAGENS COM DRONE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
Coordenação do Curso de Engenharia Civil do  
Campus Agreste da Universidade Federal de  
Pernambuco – UFPE, na modalidade de artigo  
científico, como requisito parcial para obtenção  
do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

**Área de concentração:** Estradas

**Orientador:** Prof. MSc. Renato Mahon Macedo

Caruaru

2023

## **AGRADECIMENTOS**

Gostaria de expressar minha profunda gratidão a todos que contribuíram para a realização deste trabalho de conclusão de curso. Este projeto representa um marco importante em minha jornada acadêmica, e não teria sido possível sem o apoio e a colaboração de várias pessoas e da instituição.

Primeiramente, desejo agradecer ao Campus do Agreste (CAA) - Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), pela disponibilidade do ambiente para a realização da pesquisa e ao aprendizado fornecido. Ao meu orientador, Renato Mahon Macedo, agradeço pelas valiosas orientações, paciência e conhecimentos compartilhados ao longo deste trabalho, suas contribuições foram essenciais para o desenvolvimento deste estudo.

Aos colegas de curso e amigos que me apoiaram durante essa jornada, agradeço pela troca de experiências, discussões construtivas e incentivo nos momentos desafiadores.

Por fim, dedico um agradecimento especial à minha família pelo amor, apoio incondicional e compreensão nos momentos em que precisei me dedicar intensamente a este trabalho.

## **Identificação e análise dos defeitos do pavimento através de imagens com drone**

### **Identification and analysis of pavement defects using drone images**

**Joseângelo Santos do Nascimento<sup>1</sup>**

---

#### **RESUMO**

O transporte rodoviário desempenha um papel crucial na economia do Brasil, com a maioria da infraestrutura nacional concentrada nesse modal. É vital identificar e analisar as vias pavimentadas e não pavimentadas para garantir sua manutenção e segurança. Pavimentos deteriorados podem afetar negativamente a eficiência e segurança das estradas. Assim, também torna-se importante destacar a necessidade de investimentos na infraestrutura rodoviária do país. O objetivo geral desta pesquisa é avaliar a viabilidade do uso de drones como ferramenta para identificação de defeitos em pavimentos flexíveis, comparando os resultados obtidos por essa abordagem com o método tradicional do caminhamento. A área de estudo selecionada é o Campus do Agreste (CAA) da Universidade Federal de Pernambuco, situado em Caruaru, Pernambuco. Como resultados obtidos, apresentamos uma análise detalhada dos resultados esperados da pesquisa. Inicialmente, realizou-se uma comparação entre o método do caminhamento e o uso de drones para identificação de defeitos no pavimento. Os resultados revelaram diferenças significativas nos números e tipos de defeitos identificados pelos dois métodos. Enquanto o método do caminhamento identificou um maior número total de defeitos, o uso de drones obteve uma contagem menor, resultando em 68,75% dos defeitos identificados em comparação com o caminhamento. As adversidades que culminaram em resultados abaixo do esperado, podem ser atribuídas, em parte, às condições ambientais e à altitude durante a coleta de dados com drones, ambas as condições impactaram a qualidade das imagens capturadas, especialmente em relação aos defeitos menores. Essa limitação na qualidade das imagens do drone afetou sua capacidade de identificar defeitos sutis, como pequenas fissuras. Portanto, este estudo confirmou a viabilidade do uso de drones para identificação de defeitos em pavimentos, com eficiência na captura de imagens e uma capacidade razoável de identificação de defeitos em comparação com o método do caminhamento tradicional. Embora as aplicações potenciais sejam promissoras, existem desafios, como a dependência das condições climáticas e a necessidade de treinamento específico. O estudo aponta para futuras

---

<sup>1</sup>Graduando em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Pernambuco. E-mail: joseangelo.santos@ufpe.br

pesquisas, incluindo a integração de inteligência artificial.

**Palavras-chave:** pavimentos; identificação de defeitos; drones; segurança.

---

## ABSTRACT

Road transport plays a crucial role in Brazil's economy, with the majority of national infrastructure concentrated in this mode. It is vital to identify and analyze paved and unpaved roads to ensure their maintenance and safety. Deteriorated pavements can negatively affect road efficiency and safety. Therefore, it is also important to highlight the need for investment in the country's road infrastructure. The general objective of this research is to evaluate the feasibility of using drones as a tool for identifying defects in flexible pavements, comparing the results obtained by this approach with the traditional walking method. The selected study area is the Agreste Campus (CAA) of the Federal University of Pernambuco, located in Caruaru, Pernambuco. As results obtained, we present a detailed analysis of the expected results of the research. Initially, a comparison was made between the walking method and the use of drones to identify defects in the pavement. The results revealed significant differences in the numbers and types of defects identified by the two methods. While the walking method identified a higher total number of defects, the use of drones obtained a lower count, resulting in 68.75% of defects identified compared to walking. The adversities that culminated in results below expectations can be attributed, in part, to the environmental conditions and altitude during data collection with drones, both conditions impacted the quality of the images captured, especially in relation to minor defects. This limitation in the quality of drone images affected its ability to identify subtle defects, such as small cracks. Therefore, this study confirmed the feasibility of using drones to identify defects in pavements, with efficient image capture and a reasonable ability to identify defects compared to the traditional walking method. Although the potential applications are promising, there are challenges, such as dependence on weather conditions and the need for specific training. The study points to future research, including the integration of artificial intelligence.

**Keywords:** flooring; identification of defects; drones; security.

---

**DATA DE APROVAÇÃO:** 05 de outubro de 2023.

---

## 1 INTRODUÇÃO

O transporte rodoviário exerce um papel essencial no progresso econômico do Brasil, impactando de maneira direta em diversos aspectos da produção e do consumo, dado que a nação concentra a maior parte de sua infraestrutura em torno do modal rodoviário (ANDRADE; MAIA; LIMA NETO, 2015).

Entre todos os modais, o modal rodoviária é a matriz mais amplamente utilizado no país, onde torna-se necessária a identificação das vias pavimentadas e não pavimentadas, que segundo o Ministério dos Transportes (MT), a extensão total da malha rodoviária federal, excluindo as vias planejadas, abrange 75.553 quilômetros, dos quais 65.528 quilômetros (87%) são rodovias pavimentadas e 10.025 quilômetros (13%) são rodovias não pavimentadas. Outra questão de fundamental importância para o modal rodoviário é realizar estudos e pesquisas que demonstrem a qualidade dos pavimentos e seus principais defeitos.

Para garantir a segurança e eficiência das vias de transporte, é essencial que o pavimento esteja em boas condições. No entanto, ao longo do tempo e devido ao uso contínuo, os pavimentos podem sofrer diversos tipos de danos, como trincas, depressões, desgaste superficial e deformações. O sucesso do planejamento da manutenção e reabilitação dos pavimentos, que visa reduzir os custos operacionais e garantir a segurança dos usuários, depende da identificação e avaliação oportuna desses defeitos.

Conforme uma pesquisa conduzida pela CNT (2019), foi constatado que 59,2% das rodovias avaliadas naquele ano apresentavam algum tipo de problema em seu estado geral. Dentre os trechos avaliados, 47,6% apresentaram problemas no pavimento, 48,1% tiveram deficiências na sinalização e 75,7% apresentaram falhas na geometria. Esses dados evidenciam a necessidade de investimentos na infraestrutura rodoviária do país, com o objetivo de aprimorar a qualidade, a segurança e a eficiência do transporte.

De acordo com (BERNUCCI et al., 2008) essas imperfeições podem ter impactos negativos tanto para os condutores, aumentando o tempo de viagem e reduzindo o conforto ao dirigir, como também para os veículos, resultando em desgaste prematuro de pneus e outras peças, levando à necessidade de manutenção adicional e, conseqüentemente, custos adicionais para os proprietários.

A compreensão dos fatores que influenciam o surgimento de patologias no pavimento desempenha um papel fundamental na criação de uma base de dados que contribuirá para prevenir problemas futuros. Isso torna os dimensionamentos mais precisos e seguros.

A identificação dos defeitos superficiais é um processo que permite avaliar a condição dos

pavimentos asfálticos e fornece a base para diagnosticar sua situação funcional. Isso, por sua vez, orienta a escolha de soluções tecnicamente apropriadas e, quando necessário, sugere alternativas para a restauração do pavimento (BERNUCCI, L. B.; MOTTA, L. M. G.; CERATTI, J. A. P.; SOARES, J. B, 2010)

É evidente o interesse e a importância de realizar estudos e pesquisas que buscam identificar e avaliar defeitos no pavimento por meio de imagens capturadas por drones. O desenvolvimento de metodologias precisas e eficientes nessa área pode aprimorar a gestão e a manutenção das vias de transporte, ao mesmo tempo em que aumenta a segurança e a qualidade da infraestrutura rodoviária. Dentre as alternativas para levantamento de defeitos, destacam-se métodos avançados de inspeção por imagens, como o uso de drones, veículos equipados com câmeras de alta resolução e até mesmo satélites, que têm se mostrado eficazes na identificação de defeitos com maior precisão e eficiência. Outra abordagem é a utilização de técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto, que permitem a análise de imagens de satélite e fotografias aéreas para identificar padrões e anomalias no pavimento. A inspeção manual por técnicos treinados também é uma opção, embora mais demorada e sujeita a limitações humanas.

Entre os métodos citados para o levantamento/classificação da qualidade das rodovias, temos a norma DNIT 006/2003 que estabelece os procedimentos para a avaliação objetiva do pavimento flexível, permitindo a contabilização de defeitos existentes no pavimento, a qual deve ser trabalhada em conjunto com a norma DNIT 005/2003, que apresenta a relação de defeitos que devem ser apontados no levantamento.

Neste trabalho, propõe-se uma avaliação objetiva dos defeitos da superfície do pavimento, conforme a norma DNIT 006/2003. Para isso, utiliza-se o método do caminhamento, que consiste em percorrer toda a extensão do pavimento, identificando os defeitos presentes. Esse método segue as diretrizes da norma DNIT 433/2021, que estabelece os critérios para a delimitação das seções a serem inventariadas, com base nos defeitos listados na norma DNIT 005/2003. Posteriormente será realizado voo com o drone para verificar os defeitos existentes nas mesmas áreas delimitadas, realizando-se a comparação da quantidade de anomalias identificadas nos dois métodos, de modo a verificar a eficácia da utilização da ferramenta drone para essa finalidade.

## **1.1 Objetivos**

Para esta seção serão abordados respectivamente o objetivo geral e os objetivos específicos em concordância com o estudo.

### **1.1.1 Objetivo geral**

Identificar a viabilidade da utilização do equipamento drone no levantamento dos defeitos no pavimento flexível do Campus do Agreste (CAA) da Universidade Federal de Pernambuco, a partir da comparação do levantamento visual dos mesmos defeitos da área de estudo.

### **1.1.2 Objetivos Específicos**

Identificação objetiva das patologias da camada superficial do pavimento asfáltico.

- Viabilidade da utilização do drone;
- Obtenção de imagens da área de estudo a partir da utilização do equipamento drone;
- Identificação dos defeitos pelo método do caminhamento:
- Análise dos percentuais dos defeitos;
- Comparação entre o método com o drone e o do caminhamento.

## **1.2 Área de Estudo**

A área de estudo selecionada para esta pesquisa compreende o Campus do Agreste (CAA) da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), situado no município de Caruaru, no estado de Pernambuco. A escolha dessa localização estratégica oferece um cenário ideal para a condução da pesquisa, visto que o CAA possui características que o tornam adequado para a análise dos pavimentos flexíveis.

Um aspecto relevante do estudo foi a realização de um mapeamento completo do pavimento, que envolveu a definição de uma trajetória específica, abrangendo uma relevante extensão do Campus. Essa trajetória foi planejada minuciosamente para assegurar que todas as estações ao longo do percurso fossem contempladas, permitindo, assim, a identificação sistemática dos defeitos presentes no pavimento.

A Figura 1 oferece uma visão panorâmica do Campus do Agreste (CAA), destacando a sua disposição geográfica. Esta escolha criteriosa da área de estudo e a definição estruturada da trajetória de mapeamento são fundamentais para garantir a representatividade e a abrangência da pesquisa.

**Figura 1 - Panorama do Campus do Agreste (CAA)**



Fonte: GOOGLE MAPS (2023)

A seleção dessa área de estudo específica proporciona um ambiente real e relevante para a pesquisa, permitindo uma análise aprofundada do pavimento flexível existente no Campus e a posterior identificação dos defeitos em cada estação ao longo do percurso. Essa abordagem possibilita a comparação eficaz entre diferentes métodos de levantamento de defeitos, bem como a avaliação das condições do pavimento em um contexto prático e aplicável.

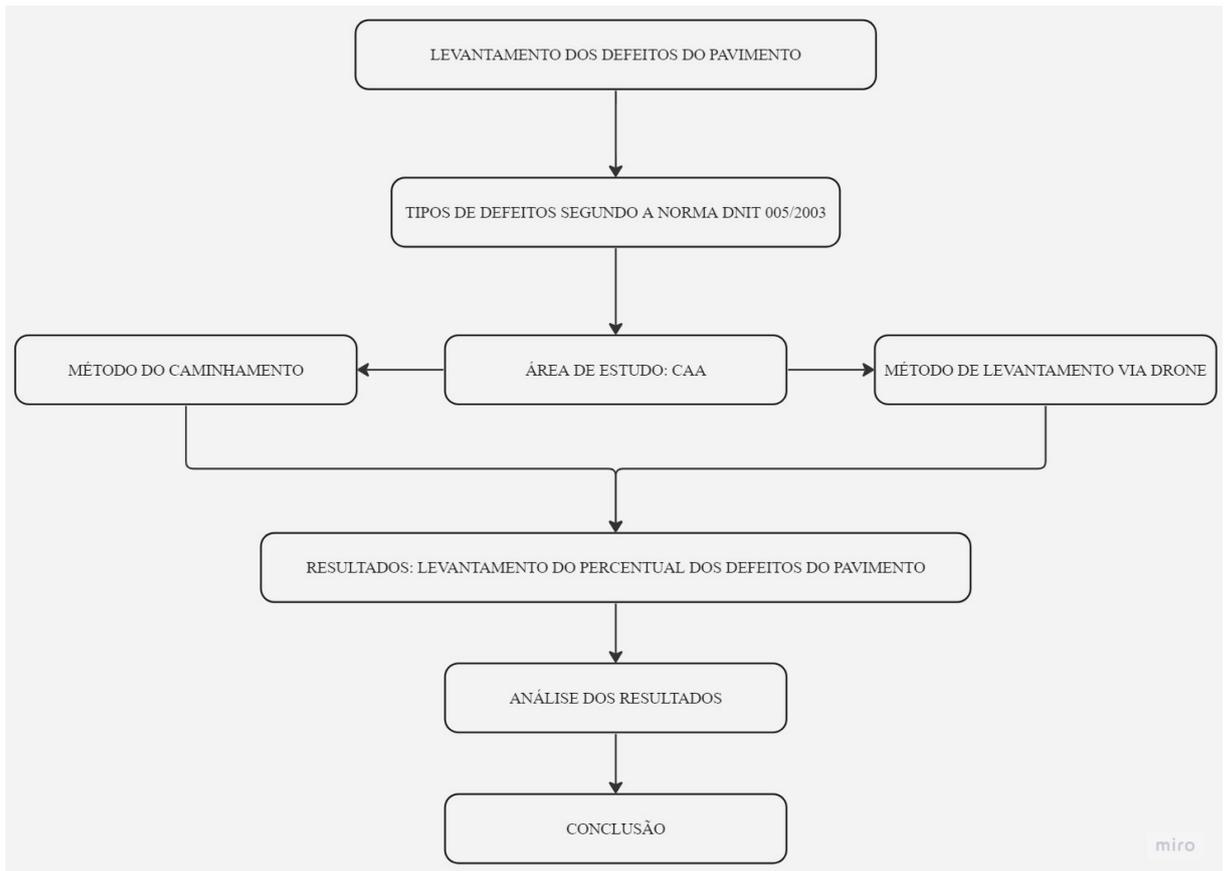
## 2 EQUIPAMENTOS E METODOLOGIA

Este capítulo descreve em detalhes os métodos e procedimentos adotados para conduzir a pesquisa, que tem como objetivo identificar e analisar defeitos no pavimento. A metodologia abrange duas abordagens distintas: o método tradicional de caminhamento e o uso de drones para captura de imagens aéreas.

O fluxograma apresentado abaixo na Figura 2, serviu como um guia essencial ao longo deste estudo, proporcionando uma estrutura clara e direcionada para a realização das etapas necessárias na identificação e análise dos defeitos no pavimento. Cada passo, desde a identificação dos tipos de defeitos com base na norma DNIT 005/2003 até a coleta de dados por meio dos métodos do Caminhamento e Levantamento via Drone, foi seguido

meticulosamente. Essa representação visual foi fundamental para um melhor entendimento do processo de pesquisa, facilitando a análise dos resultados e contribuindo para a eficiência e rigor metodológico deste estudo.

**Figura 2** – Fluxograma de Desenvolvimento do Estudo



Fonte: AUTOR (2023)

## 2.1 Método do Caminhamento

O método do caminhamento consiste em percorrer toda a extensão do pavimento, identificando os defeitos presentes, o mesmo foi escolhido como uma das abordagens para a identificação das patologias na superfície de avaliação, seguindo diretrizes estabelecidas nas normas DNIT 006/2003, DNIT 433/2021 e no MANUAL DE RESTAURAÇÃO DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS (2006). Essas normas definem conceitos, critérios, equipamentos e planilhas necessários para a execução padronizada e confiável deste método. Durante a condução do levantamento, diversas informações provenientes dessas normas foram aplicadas, incluindo o inventário dos defeitos, a delimitação e localização do estaqueamento, as demarcações das superfícies de avaliação e o desenvolvimento do cálculo para obtenção da

frequência absoluta. Essas diretrizes foram fundamentais para garantir a consistência e precisão dos resultados obtidos por meio do método do Caminhamento.

### **2.1.1 Equipamentos e Materiais**

Para a implementação do método do caminhamento, os seguintes equipamentos e materiais foram empregados:

- Trena com extensão de até 30 metros para a demarcação das estacas e estações.
- Tinta spray à base de resina acrílica para marcação das estações.
- Pedacos de gesso utilizados para marcações prévias.
- Smartphone Xiaomi Mi 11 Ultra.

### **2.1.2 Processo de Execução**

O processo de execução do método do caminhamento consistiu nas seguintes etapas:

#### **2.1.2.1 Preparação do Trecho**

Inicialmente, o trecho a ser avaliado foi devidamente interditado para garantir a segurança das pessoas envolvidas na inspeção.

#### **2.1.2.2 Demarcação das Estacas e Estações**

Esta etapa inicialmente consistiu na localização das superfícies de avaliação. Para isso, foi utilizado o Google Maps para delimitar toda a extensão que seria percorrida, resultou em 713,29m, como mostrado na Figura 3. De acordo com a norma DNIT 006/2003, nas rodovias de pista simples, as superfícies de avaliação devem ser localizadas a cada 20 m alternados em relação ao eixo da pista de rolamento (40 m em 40 m em cada faixa de tráfego). O pavimento estudado se trata de pista simples, logo foi demarcado os 20 m.

**Figura 3 – Extensão do Pavimento em Estudo**

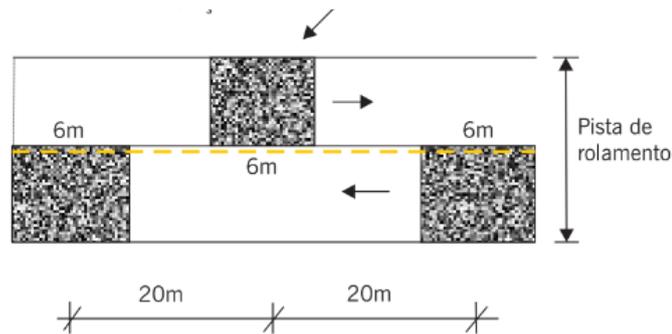


Fonte: GOOGLE MAPS (2023)

Em seguida foi realizada as demarcações das superfícies de avaliação. Para isso, foram utilizadas tintas de resina acrílica spray. Cada estação foi referenciada para facilitar na hora da análise. Foram realizadas 6 marcações por estação, sendo elas:

- Uma para estaca,
- Uma 3 m após a estaca,
- Uma 3 m antes da estaca, e
- Três sinalizando e delimitando o eixo da via.

A cada conjunto de 6 marcações equivalem a 1 estação referida, e a cada estaca ocorre a mudança de faixa. A seguir as Figuras 4A e 4B, demonstra como ficaram as demarcações, para assim facilitar a leitura do levantamento seguinte com o drone e minimizar os erros de identificação.

**Figura 4A – Divisão de áreas em pista simples**

Fonte: PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA: FORMAÇÃO BÁSICA PARA ENGENHEIROS, 2008

**Figura 4B – Projeção real da divisão de áreas em pista simples**

Fonte: AUTOR (2023)

### 2.1.2.3 Tipos de Defeitos Segundo a Norma DNIT 005/2003

Os defeitos de pavimento são alterações na estrutura ou na superfície do pavimento que podem prejudicar o desempenho funcional e a segurança do usuário. Os principais defeitos de pavimento são:

- **Fendas e trincas**

Fendas e trincas são descontinuidades na superfície do pavimento que podem ser causadas por diversos fatores, como:

- Fadiga do material do pavimento;
- Retração térmica;
- Degradação do ligante betuminoso;
- Deformação da estrutura do pavimento;
- Ações externas, como o tráfego de veículos pesados.

Fendas são aberturas de menor porte que trincas. Trincas são aberturas maiores que podem

ser classificadas como isoladas ou interligadas. Trincas isoladas são aquelas que não estão conectadas a outras trincas. Trincas interligadas são aquelas que estão conectadas a outras trincas.

- **Afundamento**

Afundamento é uma deformação permanente da superfície do pavimento que pode ser causada por diversos fatores, como:

- Fluência plástica do material do pavimento ou do subleito;
- Consolidação diferencial do material do pavimento ou do subleito;
- Degradação do subleito.

Afundamento plástico é causado pela fluência plástica de uma ou mais camadas do pavimento ou do subleito. Afundamento de consolidação é causado pela consolidação diferencial de uma ou mais camadas do pavimento ou subleito.

- **Ondulação ou corrugação**

Ondulação ou corrugação é uma deformação da superfície do pavimento caracterizada por ondulações ou corrugações transversais. Essa deformação pode ser causada por diversos fatores, como:

- Degradação do ligante betuminoso;
- Deformação da estrutura do pavimento;
- Ações externas, como o tráfego de veículos pesados.

- **Escorregamento**

Escorregamento é o deslocamento do revestimento em relação à camada subjacente do pavimento. Essa deformação pode ser causada por diversos fatores, como:

- Retração térmica;
- Degradação do ligante betuminoso;
- Deformação da estrutura do pavimento;
- Ações externas, como o tráfego de veículos pesados.

- **Exsudação**

Exsudação é o excesso de ligante betuminoso na superfície do pavimento. Essa deformação pode ser causada por diversos fatores, como:

- Excesso de ligante na mistura asfáltica;

- Degradação do ligante betuminoso;
- Ações externas, como o tráfego de veículos pesados.

- **Desgaste**

Desgaste é o arrancamento progressivo do agregado do pavimento. Essa deformação pode ser causada por diversos fatores, como:

- Atrito do tráfego de veículos;
- Ações externas, como o tráfego de veículos pesados.

- **Panela ou buraco**

Panela ou buraco é uma cavidade que se forma no revestimento. Essa deformação pode ser causada por diversos fatores, como:

- Falta de aderência entre camadas superpostas;
- Degradação do ligante betuminoso;
- Deformação da estrutura do pavimento;
- Ações externas, como o tráfego de veículos pesados.

- **Remendo**

Remendo é uma operação de correção de uma panela ou buraco. Os remendos podem ser classificados como profundos ou superficiais. Remendos profundos são aqueles em que há substituição do revestimento e, eventualmente, de uma ou mais camadas inferiores do pavimento. Remendos superficiais são aqueles em que há correção, em área localizada, da superfície do revestimento, pela aplicação de uma camada betuminosa.

#### **2.1.2.4 Caminhamento e Registro de Defeitos**

O caminhamento foi realizado, percorrendo o trecho demarcado e registrando os tipos e a estação dos defeitos encontrados. Isso incluiu fendas, trincas, afundamentos, ondulações, escorregamentos, exsudação, desgaste, panelas e remendos, de acordo com as definições da norma DNIT 005/2003.

Foi utilizado o smartphone MI 11 Ultra, com boa qualidade de câmeras para registrar as imagens dos defeitos em suas respectivas estações, onde as mesmas foram utilizadas no trabalho de conclusão de curso em questão, para assim ter uma base de informações mais concretas dos resultados obtidos.

## **2.2 Uso de Drones na Identificação de Defeitos**

### **2.2.1 Equipamentos e Materiais**

Neste trabalho, utilizou-se o uso de drones para capturar imagens das seções do pavimento, visando identificar os defeitos presentes, conforme a norma DNIT 006/2003. Essa técnica apresenta diversas vantagens em relação aos métodos tradicionais, como o caminhamento, tais como: redução do tempo e do custo do levantamento, melhoria da qualidade e da precisão dos dados, possibilidade de realizar análises mais abrangentes e integradas, e contribuição para a conservação e a manutenção do pavimento. Portanto, o uso de drones na identificação de defeitos de pavimento é uma ferramenta valiosa para os estudos na área de pavimentação, que evita o desgaste físico dos operadores e fornece informações atualizadas e consistentes.

Para a segunda abordagem da identificação de defeitos no pavimento, optou-se pelo uso do drone Mavic 2 Pro reconhecido por sua excelência em qualidade de imagem e facilidade de operação. Este drone é fabricado pela DJI, uma renomada empresa do mercado de drones, e se destaca por apresentar uma câmera Hasselblad com sensor de 1 polegada, possibilitando a captura de imagens em alta resolução e gravação de vídeos em 4K com 10 bits de profundidade de cor. Além disso, sua autonomia de voo chega a 31 minutos, com um alcance de transmissão de até 8 km, e conta com um sistema de detecção de obstáculos omnidirecional, o que contribui significativamente para a segurança e estabilidade das operações de voo.

### **2.2.2 Processo de Execução**

A execução da identificação de defeitos utilizando drones seguiu as etapas a seguir:

#### **2.2.2.1 Planejamento de Voo**

Com base nas análises e informações anteriores, a realização do planejamento das trajetórias de voo pré-definidas constituiu uma etapa crítica para abranger de maneira eficiente a totalidade da área de estudo. Esta operação se manteve em conformidade com um perfil de altitude constante de 23 metros e uma velocidade controlada. A definição das trajetórias foi fundamentada e pré-estabelecida, conforme ilustrado na Figura 3, obtida por meio do Google Maps, ou seja, uma ferramenta de mapeamento. A seleção do dia de operação levou em consideração as condições meteorológicas, considerando os fatores ambientais e as precauções necessárias em relação à segurança, dada a presença de edificações no Campus da UFPE. A

altitude de voo de 23 metros foi cuidadosamente escolhida para otimizar a segurança operacional e a qualidade das imagens coletadas para a identificação dos defeitos no pavimento.

O procedimento de voo envolveu a captura de imagens de forma manual, resultando na ausência de voos automatizados. Para cada seção da área de estudo sujeita à análise, uma imagem individual foi capturada, permitindo uma abordagem detalhada de cada parte da superfície do pavimento.

#### **2.2.2.2 Captura de Imagens**

- As condições climáticas foram cuidadosamente analisadas antes da operação.
- Foram avaliados os riscos potenciais associados ao voo do drone.
- Foram definidos pontos inicial e final do trajeto.
- Capturou-se imagens de alta resolução em cada seção demarcada, permitindo a identificação de defeitos.

#### **2.2.2.3 Preenchimento do Inventário de Defeitos**

A tabela de defeitos apresentada na Figura 5, fornece uma visão clara e organizada dos tipos de defeitos encontrados em pavimentos de acordo com a norma DNIT 006/2003. Cada tipo de defeito está associado a uma abreviação específica, facilitando a identificação e classificação dos problemas que podem afetar as vias. Com essa referência, engenheiros, gestores de infraestrutura e equipes de manutenção podem avaliar de forma eficaz o estado dos pavimentos, adotar medidas corretivas apropriadas e contribuir para a segurança e durabilidade das estradas. Essa tabela desempenha um papel fundamental na padronização e comunicação dentro do campo da engenharia de pavimentos.

**Figura 5 – Quadro Resumo dos Defeitos- Codificação e Classificação**

FENDAS				CODIFICAÇÃO	CLASSE DAS FENDAS		
Fissuras				FI	-	-	-
Trincas no revestimento geradas por deformação permanente excessiva e/ou decorrentes do fenômeno de fadiga	Trincas Isoladas	Transversais	Curtas	TTC	FC-1	FC-2	FC-3
			Longas	TTL	FC-1	FC-2	FC-3
		Longitudinais	Curtas	TLC	FC-1	FC-2	FC-3
			Longas	TLL	FC-1	FC-2	FC-3
	Trincas Interligadas	"Jacaré"	Sem erosão acentuada nas bordas das trincas	J	-	FC-2	-
			Com erosão acentuada nas bordas das trincas	JE	-	-	FC-3
Trincas no revestimento não atribuídas ao fenômeno de fadiga	Trincas Isoladas	Devido à retração térmica ou dissecação da base (solo-cimento) ou do revestimento		TRR	FC-1	FC-2	FC-3
	Trincas Interligadas	"Bloco"	Sem erosão acentuada nas bordas das trincas	TB	-	FC-2	-
			Com erosão acentuada nas bordas das trincas	TBE	-	-	FC-3
OUTROS DEFEITOS					CODIFICAÇÃO		
Afundamento	Plástico	Local	Devido à fluência plástica de uma ou mais camadas do pavimento ou do subleito	ALP			
		da Trilha	Devido à fluência plástica de uma ou mais camadas do pavimento ou do subleito	ATP			
	De Consolidação	Local	Devido à consolidação diferencial ocorrente em camadas do pavimento ou do subleito	ALC			
		da Trilha	Devido à consolidação diferencial ocorrente em camadas do pavimento ou do subleito	ATC			
Ondulação/Corrugação - Ondulações transversais causadas por instabilidade da mistura betuminosa constituinte do revestimento ou da base					O		
Escorregamento (do revestimento betuminoso)					E		
Exsudação do ligante betuminoso no revestimento					EX		
Desgaste acentuado na superfície do revestimento					D		
"Painéis" ou buracos decorrentes da desagregação do revestimento e às vezes de camadas inferiores					P		
Remendos				Remendo Superficial	RS		
				Remendo Profundo	RP		

Fonte: DNIT (2006)

- As definições de defeitos presentes na norma DNIT 005/2003 e o anexo B da norma DNIT 006/2003 foram utilizados como referência para identificar os tipos de defeitos.
- Foi preenchida uma ficha de inventário para cada método, registrando à estaca, a seção e os tipos de defeitos encontrados.
- Calculou-se a frequência absoluta de cada tipo de defeito por estação.

Para a utilização do inventário de ocorrência é necessário ter o conhecimento das definições dos defeitos que podem ser encontrados. Portanto de acordo com a Norma DNIT 005/2003 é possível classificar esses defeitos através das seguintes definições:

### 2.3 Cálculo da Frequência Absoluta e Percentual de Trincamento

O cálculo da frequência absoluta e percentual dos defeitos é um aspecto essencial deste estudo, permitindo uma análise comparativa entre os métodos do caminhamento e o uso de drones na identificação de defeitos em pavimentos. Aqui está uma explicação mais detalhada de como esse cálculo é realizado:

- **Coleta de Dados:** Inicialmente, foram coletadas informações detalhadas sobre os defeitos encontrados em ambos os métodos, ou seja, pelo Método do Caminhamento e utilizando drones. Essas informações foram registradas no inventário, como mostra a Figura 6, incluindo o tipo de defeito e a estação onde foram observados.

**Figura 6 – Modelo do inventário de ocorrências**

Estação	Config. Da Terrapl	T1					T2		T3		T4				T5			T6	T7	T8	Flexa na Trilha de Roda (mm)			
		FC-1					FC-2		FC-3		ALP	ALC	ATP	ATC	O	E	P	EX	D	R	TREX	TRI		
		FI	TT		TL		TRR	J	TB	JE													TBE	
			TTC	TTL	TLC	TLL																		
0	C																							
1	C																							
2	C																							
3	C																							
4	SMC																							
5	SMC																							
6	SMC																							
7	SMC																							
8	SMC																							
9	A																							
10	A																							
11	A																							
12	A																							
13	A																							
14	A																							
15	A																							
16	SMA																							
17	SMA																							
18	SMA																							
19	SMA																							
20	SMA																							

Fonte: AUTOR (2023)

- **Processamento dos Dados:** As informações do inventário foram então inseridas em uma planilha no Microsoft Excel para facilitar os cálculos subsequentes. Isso permite uma análise mais eficiente e precisa dos dados coletados.
- **Cálculo da Frequência Absoluta:** De acordo com a norma DNIT 006/2003 a frequência absoluta (fa) corresponde ao número de vezes em que a ocorrência foi verificada.
  - A frequência absoluta de cada tipo de defeito foi quantificada da seguinte

maneira: Para cada estação, os tipos de defeitos presentes foram avaliados. Em casos onde na mesma estação foram identificadas ocorrências dos tipos 1, 2 e 3 (relativas às Fendas), apenas as ocorrências do tipo 3 foram contabilizadas. A partir do tipo 4, foi contabilizada uma ocorrência para cada tipo de defeito identificado.

- **Cálculo do Percentual dos defeitos:** Para o cálculo da porcentagem de defeitos, foi utilizada a seguinte equação (1), para cada tipo de defeito:

$$P(\%) = \frac{F_a}{N^\circ \text{ (total de defeitos)}} \times 100 \quad (1)$$

Onde:

- F (a): Frequência absoluta do tipo de defeito (quantidade de ocorrências).
- P (%): Porcentagem de defeitos por tipo.
- N° (total de defeitos): somatório do número de ocorrências para todos os tipos de defeitos.

Esse cálculo permite obter o percentual de cada tipo de defeito em relação ao total de estações avaliadas. Dessa forma, é possível comparar efetivamente a prevalência de defeitos identificados pelos dois métodos, contribuindo para a avaliação da eficácia do uso de drones na identificação de defeitos em pavimentos em relação ao método tradicional do caminhamento.

## 2.4 Comparação e Análise dos Resultados

Após a coleta de dados, os resultados obtidos pelos métodos do caminhamento e do uso de drones foram processados e submetidos a análises estatísticas. A concordância entre os métodos foi verificada por meio de testes de hipóteses e de correlação. Os resultados foram discutidos em profundidade, considerando os aspectos técnicos, econômicos e ambientais envolvidos. A utilização de processos adequados para a identificação e o registro dos defeitos do pavimento foi fundamental para a obtenção de dados consistentes e que permitissem a discussão sobre a eficiência de ambos os métodos, bem como a identificação de suas vantagens e desvantagens, e as dificuldades enfrentadas nos levantamentos. Com base em todos os processos, chegou-se a resultados prósperos e que puderam promover debates sobre a funcionalidade dos métodos, avaliando a segurança, a qualidade e a eficiência tanto do caminhamento quanto do uso do

drone.

Essa metodologia integrada permitiu a coleta de dados abrangente e a análise comparativa dos resultados obtidos por meio das duas abordagens distintas, os quais serão discutidos no item 3.0 deste trabalho.

---

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo, apresentaremos os resultados esperados da pesquisa, que foram divididos em duas seções principais. A primeira seção se concentra na comparação entre o método do caminhamento e o uso de drones para identificação de defeitos do pavimento. A segunda seção analisará em detalhes os tipos de defeitos identificados e exemplificará as diferenças notáveis entre as duas abordagens.

#### 3.2.1 Comparação entre o Método do Caminhamento e Uso de Drones

A análise dos resultados será apresentada em duas partes. Primeiramente, faremos uma comparação direta entre os resultados obtidos pelo método do caminhamento e pelo uso de drones para identificação de defeitos.

Comparação Geral:

**Tabela 1** – Modelo do inventário de ocorrências

Método	Extensão do Trecho (m)	Nº Total de Defeitos
Caminhamento	713,20	32
Uso de Drones	713,20	22

Fonte: Autor (2023)

Conforme destacado na Tabela 1, o método do Caminhamento obteve um alto nível de identificação no número total de defeitos. Isso se deve em grande parte à sua proximidade em relação ao pavimento, bem como à alta resolução da câmera do smartphone utilizada. Por outro lado, o uso de drones resultou em uma contagem menor de defeitos, quando comparado com o método tradicional de levantamento (método do caminhamento), resultou em 68,75% dos defeitos identificados.

- Comparação Detalhada dos Tipos de Defeitos:

**Tabela 2** – Comparação Detalhada dos Tipos de Defeitos

Tipos	Tipo de Defeito	Método do Caminhamento (FA)	Uso de Drones (FA)
1	(FCI) F, TTC, TTL, TLC, TLL, TRR	22	13
5	O, P, E	1	0
7	D	2	2
8	R	7	7
<b>Total</b>	=	<b>32</b>	<b>22</b>

Fonte: Autor (2023)

**Tabela 3** – Comparação Detalhada dos Percentuais dos Tipos de Defeitos

Tipos	Tipo de Defeito	Método do Caminhamento (FA)	Uso de Drones (FA)
1	(FCI) F, TTC, TTL, TLC, TLL, TRR	68,75%	59,09%
5	O, P, E	3,12%	0
7	D	6,25%	9,09%
8	R	21,88%	31,82%
<b>Total</b>	=	<b>100%</b>	<b>100%</b>

Fonte: Autor (2023)

A análise da Tabela 2 revela diferenças significativas na identificação percentual dos tipos de defeitos entre os métodos do Caminhamento e o uso de Drones. É notável que os defeitos do Tipo 1 (FCI), que englobam diversas categorias, mostram uma diferença percentual de cerca de 9,66%, com uma porcentagem de 68,75% identificada pelo Caminhamento e 59,09% pelo uso de Drones. Além disso, para o Tipo 5 (defeitos O, P, E), o Caminhamento identificou 3,12% desses defeitos, enquanto o uso de Drones não identificou nenhum. Por outro lado, os defeitos do Tipo 7 (D) e Tipo 8 (R) apresentam uma diferença percentual menor, com 2,84% a mais identificado pelo uso de Drones para o Tipo 7 e 9,94% para o Tipo 8 em comparação com o Caminhamento. Essas variações percentuais ressaltam a importância de escolher cuidadosamente o método de levantamento de defeitos, pois diferentes abordagens podem influenciar significativamente nos resultados, priorizando a identificação de certos tipos de defeitos em detrimento de outros.

Como evidenciado na Tabela 2, ambos os métodos foram capazes de identificar os diversos

tipos de defeitos. Entretanto, é crucial observar que o uso de drones apresentou limitações significativas quanto à qualidade das imagens de resolução, resultando em uma menor confiabilidade na identificação desses. O tipo de defeito 1, relacionado a fissuras de pequenas dimensões, apresentou-se como um desafio significativo em relação à sua identificação por meio da utilização de drones. Essas fissuras, devido ao seu tamanho reduzido, podem ser de difícil detecção através de imagens capturadas por drones, o que ressalta a importância de estratégias adicionais de inspeção e análise para identificá-las de maneira eficaz.

Na Tabela 3, observamos que a relação entre as porcentagens de defeitos nos dois métodos revelou diferenças significativas, sobretudo em relação aos defeitos mais visíveis. No entanto, foi notável uma defasagem no que diz respeito aos defeitos de menor magnitude. Isso pode ser atribuído, em grande parte, ao tamanho desses defeitos. Ao comparar as imagens capturadas por smartphones com as obtidas pelo drone, ficou evidente que as primeiras apresentavam uma qualidade superior, o que impactou diretamente nesse resultado específico.

A comparação das respostas apresentadas nas Tabelas 2 e 3 revela informações valiosas, que podem ser atribuídas a vários fatores, incluindo interferências em relação a vegetação presente no local, onde a mesma poderá sombrear a superfície de avaliação ou até mesmo tirar a visibilidade do drone e a altitude durante a coleta de dados. É essencial destacar que esses fatores desempenharam um papel significativo na qualidade dos resultados obtidos pelos dois métodos.

No método do caminhamento, a coleta de dados foi realizada com um smartphone em proximidade direta ao pavimento, sob condições climáticas ensolaradas. Isso permitiu uma captura detalhada e nítida dos defeitos, resultando em uma alta precisão na identificação, especialmente para os defeitos mais visíveis. No entanto, é importante notar que, mesmo sob essas condições favoráveis, ainda houve alguns desafios na identificação de defeitos de menor magnitude, como fissuras de pequenas dimensões. Os desafios de identificar fissuras menores no método do caminhamento residem principalmente na limitação da capacidade visual devido à proximidade com o pavimento. Fissuras de pequenas dimensões podem não ser tão visíveis a olho nu quando observadas de perto, especialmente sob luz solar direta, o que pode dificultar sua identificação precisa. No entanto, esse método oferece condições favoráveis para identificar esses defeitos, uma vez que o smartphone usado para a coleta de dados está muito próximo da superfície do pavimento. Isso permite uma captura detalhada das características do pavimento e dos defeitos presentes, incluindo fissuras menores, que, embora possam não ser facilmente visíveis a olho nu, podem ser registradas de forma mais clara e nítida pelo dispositivo móvel devido à sua proximidade com o pavimento. Portanto, apesar dos desafios, o método do

caminhamento ainda oferece uma vantagem na identificação de fissuras menores em comparação com outros métodos que não têm a mesma proximidade com a superfície do pavimento.

Por outro lado, no uso de drones, a coleta de dados ocorreu a uma altitude de 23 metros, em condições climáticas favoráveis, após duas tentativas malsucedidas devido a condições nubladas e com chuviscos. A diferença na altitude e nas condições climáticas desempenhou um papel crucial na qualidade das imagens capturadas. A altitude resultou em imagens mais amplas, mas com uma resolução menor, dificultando a identificação precisa de defeitos menores. Além disso, as condições climáticas adversas nas primeiras tentativas ressaltam a importância do planejamento e da espera por condições ideais para garantir um levantamento de qualidade com drones.

Assim, fica claro que a escolha do método de coleta de dados deve levar em consideração não apenas a tecnologia, mas também as condições ambientais e a altitude (no caso da utilização da ferramenta drone). O estudo destaca a necessidade de planejamento cuidadoso e consideração das adversidades climáticas para obter resultados eficientes e confiáveis. A combinação de dados coletados por meio de drones e método do caminhamento pode ser uma estratégia eficaz para garantir uma identificação abrangente e precisa de defeitos em pavimentos, abordando as limitações de cada método.

### **3.2.2 Análise Detalhada dos Defeitos Identificados**

Aqui, analisaremos em detalhes os defeitos identificados por ambas as abordagens, destacando os seguintes aspectos:

- Fendas e Trincas, como mostra as Figuras 7A e 7B:

**Figura 7A** – Fendas e Trincas Identificadas pelo Método do Caminhamento



Fonte: AUTOR (2023)

**Figura 7B** – Fendas e Trincas Identificadas pelo Uso de Drones



Fonte: AUTOR (2023)

- Escorregamento, como mostra a Figura 8:

**Figura 8A** – Escorregamento Identificado pelo Método do Caminhamento



Fonte: AUTOR (2023)

Com base nas análises realizadas nas imagens capturadas, é importante observar que o método utilizando o drone não identificou o tipo de defeito relacionado ao escorregamento na superfície do pavimento. Esse resultado evidencia uma limitação na capacidade do drone de detectar essa categoria específica de defeito

- Desgaste, como mostrado na Figura 9A e 9B:

**Figura 9A** – Desgaste Identificado pelo Método do Caminhamento



Fonte: AUTOR (2023)

**Figura 9B** – Desgaste Identificado pelo Uso de Drone



Fonte: AUTOR (2023)

- Remendos, como mostram as Figuras 10A e 10B:

**Figura 10A** – Remendos Identificados pelo Método do Caminhamento



Fonte: AUTOR (2023)

**Figura 10B** – Remendos Identificados pelo Uso de Drone



Fonte: AUTOR (2023)

A comparação das imagens capturadas por celular e por drone, que retratam os mesmos defeitos levantados nas mesmas seções do pavimento, revela diferenças notáveis em termos de qualidade e detalhamento.

No que diz respeito às fendas e trincas, conforme mostrado nas Figuras 7A e 7B, as imagens obtidas pelo método do Caminhamento exibem uma nitidez e clareza significativamente maiores em comparação com as imagens capturadas pelo drone. Isso sugere que o Caminhamento fornece uma visão mais precisa e detalhada desses tipos de defeitos por terem menores dimensões.

Em relação ao escorregamento, vale destacar que o método utilizando o drone não identificou esse tipo de defeito, como evidenciado na Figura 8. Esse resultado indica uma limitação na capacidade do drone em identificar defeitos mais sutis ou menos visíveis no pavimento.

No que diz respeito ao desgaste, as Figuras 9A e 9B mostram que ambos os métodos foram capazes de identificar esse tipo de defeito, embora as imagens do Caminhamento pareçam um pouco mais nítidas e detalhadas.

Quanto aos remendos, as Figuras 10A e 10B revelam que ambos os métodos conseguiram identificar esses defeitos, embora as imagens do Caminhamento pareçam mais nítidas e definidas, permitindo uma avaliação mais precisa.

Em resumo, a comparação das imagens destaca a diferença na qualidade de resolução entre

o método do Caminhamento e o uso de Drones. Enquanto o Caminhamento fornece imagens mais nítidas e detalhadas, o uso de Drones oferece uma visão mais ampla, mas com resolução menor. Essa diferença de qualidade de imagem pode influenciar na identificação precisa de defeitos, especialmente os menos visíveis, e destaca a importância de escolher o método de acordo com os objetivos da análise de pavimento.

---

## 4 CONCLUSÕES

A conclusão deste estudo representa o fechamento de um ciclo de investigação dedicado à identificação e análise dos defeitos do pavimento por meio de imagens capturadas com drones. Ao longo deste trabalho, exploramos as complexidades e desafios associados à manutenção de pavimentos, bem como a busca por métodos mais eficazes e eficientes para identificar defeitos.

Nossos principais objetivos eram verificar a viabilidade da utilização de drones como ferramenta de levantamento de defeitos de pavimento e comparar os resultados obtidos por essa abordagem com o método tradicional do caminhamento. Com base nos procedimentos e nas análises realizadas, algumas conclusões importantes podem ser destacadas:

- **Eficiência e Eficácia do Uso de Drones:** A utilização de drones para captura de imagens do pavimento demonstrou ser uma abordagem relativamente eficiente em comparação com o método do caminhamento. O drone Mavic 2 PRO permitiu a obtenção rápida e boa resolução de imagens, cobrindo extensões significativas de pavimento em um curto espaço de tempo. Isso representa uma grande vantagem em termos de eficiência operacional e economia de recursos.
- **Precisão na Identificação de Defeitos:** Os resultados da comparação entre os métodos revelaram que o uso de drones proporcionou uma precisão relativamente boa, resultando em 68,75% na identificação dos defeitos do pavimento em comparação com o caminhamento que. Os tipos de defeitos identificados pelo drone coincidiram com boa parte dos que foram encontrados pelo método do caminhamento, mas o drone demonstrou maior velocidade e resultados promissores em relação a obtenção dos defeitos dos defeitos.
- **Aplicabilidade e Potencial de Uso:** A aplicabilidade do uso de drones na identificação de defeitos do pavimento não se limita apenas a este estudo. Essa abordagem tem o potencial de revolucionar a gestão e a manutenção de pavimentos em diversos

contextos, incluindo rodovias, vias urbanas e áreas industriais. A rapidez na coleta de dados, a redução do risco para as equipes de campo e resultados relativamente precisos são fatores que contribuem para a viabilidade do uso de drones.

- **Contribuição para o Avanço da Engenharia Civil:** Este estudo contribui significativamente para o avanço da engenharia civil, fornecendo uma alternativa inovadora para a identificação de defeitos em pavimentos. Ao aprimorar a precisão e a eficiência do processo de avaliação, espera-se que essa abordagem resulte em melhores decisões de manutenção, prolongando a vida útil dos pavimentos e melhorando a segurança das vias.
- **Limitações e Oportunidades futuras:** É importante reconhecer que este estudo possui limitações, como a dependência das condições climáticas para o uso de drones e a necessidade de equipamentos e treinamento específicos. Além disso, a análise se concentrou principalmente em defeitos visíveis na superfície do pavimento, deixando de lado possíveis problemas subsuperficiais. Torna-se necessário uma investigação da estrutura do pavimento, após a avaliação superficial. Oportunidades futuras de pesquisa podem incluir a integração de tecnologias avançadas, como processamento de imagens por inteligência artificial, para a identificação automática de defeitos. Além disso, a expansão deste estudo para diferentes tipos de pavimentos e ambientes geográficos poderia fornecer insights adicionais sobre a eficácia do uso de drones.

Em resumo, este estudo demonstrou que a utilização de drones na identificação de defeitos do pavimento é uma abordagem promissora e eficaz. A combinação de eficiência operacional, precisão e potencial de aplicação faz dessa técnica uma ferramenta valiosa para profissionais de engenharia civil e gestores de infraestrutura. À medida que a tecnologia avança e as barreiras são superadas, espera-se que o uso de drones na manutenção de pavimentos se torne cada vez mais comum e indispensável.

- **Indicações para Trabalhos Futuros:** Os levantamentos realizados pelo método do caminhamento e por meio do uso de drones neste estudo oferecem valiosas perspectivas para futuras pesquisas na área de identificação de defeitos em pavimentos. As indicações para trabalhos futuros incluem a integração de tecnologias avançadas, como o processamento de imagens por inteligência artificial, a exploração de defeitos subsuperficiais, a análise em diferentes tipos de pavimentos e ambientes geográficos, a

validação dos resultados e o desenvolvimento de protocolos normativos específicos. Esses estudos têm o potencial de aprimorar a eficiência do processo de identificação de defeitos, contribuindo para a evolução da engenharia civil e da gestão de infraestruturas viárias.

---

## REFERÊNCIAS

ANDRADE, Mauricio Oliveira; MAIA, Maria Leonor Alves; NETO, Oswaldo Cavalcanti da Costa Lima. **Impactos de investimentos em infraestruturas rodoviárias sobre o desenvolvimento regional no Brasil-possibilidades e limitações.** *Transportes*, 2015, 23.3: 90-99.

BALBO, J. T. **Pavimentação asfáltica: materiais, projetos e restauração.** 5. ed. Oficina do texto, 2007.

BERNUCCI, L. B.; MOTTA, L. M. G.; CERATTI, J. A. P.; SOARES, J. B. **Pavimentação Asfáltica –Formação Básica para Engenheiros.** Rio de Janeiro: PETROBRAS. 3. ed. ABEDA, 2010.

CNT. **Pesquisa CNT de Rodovias 2019.** Disponível em: <https://anuariodotransporte.cnt.org.br/2020/File/PrincipaisDados.pdf>. Acesso em: 24 set. 2023.

DNIT. **Manual DNIT. Defeitos nos pavimentos flexíveis e semi-rígidos.**, 2006. Disponível em: [https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-normas/coletanea-de-normas/terminologia-ter/dnit\\_005\\_2003\\_ter-1.pdf](https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-normas/coletanea-de-normas/terminologia-ter/dnit_005_2003_ter-1.pdf). Acesso em: 12 jun. 2023.

DNIT. **NORMA DNIT 006/2003. Avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos.** Disponível em: [https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-normas/coletanea-de-normas/procedimento-pro/dnit006\\_2003\\_pro.pdf](https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-normas/coletanea-de-normas/procedimento-pro/dnit006_2003_pro.pdf). Acesso em: 01 jul. 2023.

DNIT. **NORMA DNIT 433/2021. Pavimentação.** Disponível em: [https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-normas/coletanea-de-normas/procedimento-pro/dnit\\_433\\_2021\\_pro.pdf](https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-normas/coletanea-de-normas/procedimento-pro/dnit_433_2021_pro.pdf). Acesso em: 24 set. 2023.

IBM. **Inspeção visual.** Disponível em: <https://www.ibm.com/br-pt/topics/visual-inspection>. Acesso em: 27 set. 2023.

MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES. **Malha rodoviária federal.** Disponível em: <https://www.gov.br/transportes/pt-br/assuntos/transporte-terrestre/rodovias-federais/sistema-federal-de-viacao>. Acesso em: 10 set. 2023.

MAVIC 2 PRO. **Drones com câmeras.** Disponível em: <https://www.dji.com/br/mavic-2>. Acesso em: 29 set. 2023

NUCLEO DO CONHECIMENTO. **Patologia: Estradas e Pavimentação**. Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-civil/patologia-estradas-e-pavimentacao>. Acesso em: 26 ago. 2023.

PETROBRAS. **Manual de Pavimentação**. Disponível em: Pavimentação Asfáltica - Petrobras - Versão Completa.pdf [9n0k8ky7234v] (idoc.pub). Acesso em: 24 set. 2023.

JOSEÂNGELO SANTOS DO NASCIMENTO

**IDENTIFICAÇÃO E ANÁLISE DOS DEFEITOS DO PAVIMENTO ATRAVÉS DE  
IMAGENS COM DRONE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
Coordenação do Curso de Engenharia Civil do  
Campus Agreste da Universidade Federal de  
Pernambuco – UFPE, na modalidade de artigo  
científico, como requisito parcial para obtenção  
do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

**Área de concentração:** Estradas

Aprovado em 05 de outubro de 2023.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. MSc. Renato Mahon Macedo (Orientador)  
Universidade Federal de Pernambuco

---

Prof. Me. Antônio José Prado Martins Santos (Avaliador)  
Instituto Federal Baiano

---

Profa. Dra. Shirley Minnell Ferreira de Oliveira (Avaliadora)  
Universidade Federal de Pernambuco