



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIAS
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

LARISSA MARTINS DIAS

**AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO DA
RODOVIA RN – 233 NO TRECHO ENTRE APODI E CARAÚBAS**

CARAÚBAS

2021

LARISSA MARTINS DIAS

**AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO DA RODOVIA
RN – 233 NO TRECHO ENTRE APODI E CARAÚBAS**

Monografia apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Rokátia Lorrany Nogueira Marinho, Prof.

Coorientador: Wellington Lorrann Gaia Ferreira, Prof. Ms.

CARAÚBAS

2021

© 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.

541 Dias, Larissa Martins.

 Avaliação das condições de superfície do pavimento da rodovia RN-233 no trecho entre Apodi e Caraúbas / Larissa Martins Dias. - 2021.

 74 f.: il.

 Orientadora: Rokátia Lorrany Nogueira Marinho.

 1. Pavimentação asfáltica . 2. Levantamento Visual Contínuo. 3. Mapeamento aéreo. 4. Manifestações patológicas. I. Marinho, Rokátia Lorrany Nogueira, orient. II. Ferreira, Wellington Lorrany Gaia, co-orient. III. Título.

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.

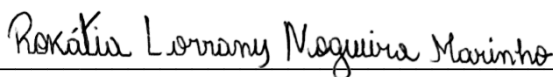
LARISSA MARTINS DIAS

**AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO DA RODOVIA
RN – 233 NO TRECHO ENTRE APODI E CARAÚBAS**

Monografia apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Defendida em: 31/05/2021.

BANCA EXAMINADORA



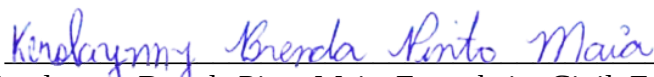
Rokátia Lorrany Nogueira Marinho, Prof. Esp. (UFERSA)
Presidente



Wellington Lorrany Gaia Ferreira, Prof. Ms. (UFERSA)
Membro Examinador



Alison Kaio Dantas Pereira, Engenheiro Civil, Esp. (UFERSA)
Membro Examinador



Kerolaynny Brenda Pinto Maia, Engenheira Civil, Esp.
Membro Examinador

A Deus que me fortalece. Aos meus pais que me encorajam e sonham os meus sonhos. Ao meu irmão, a quem dedico imenso amor e demais familiares.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela minha vida, por minha família, e por caminhar sempre ao meu lado, sendo meu abrigo e proteção. Eu te agradeço, Senhor, por me levantar todos os dias, por não me deixar fraquejar diante dos medos e dificuldades, por me capacitar e mostrar minha grandeza nos momentos em que me senti tão pequena. A ti, toda Honra e Glória.

Agradeço aos meus pais Francisco Edinaldo Dias da Cunha e Maria Edileide Martins Alves por todos os ensinamentos. Com vocês eu pude aprender que a beleza se encontra nas coisas mais simples, que a felicidade não depende do muito, e principalmente, que a humildade, respeito e doação ao próximo são valores que fazem o ser humano mais bonito. Aproveito para destacar a importância que exercem na minha vida e dizer o quanto sou grata a Deus por ter vocês juntinho de mim, sonhando os meus sonhos. Obrigada por todo incentivo e esforço para que eu chegasse até aqui. Eu vos amo muito, meus pais.

Agradeço ao meu irmão Guilherme Martins Dias, pessoa com quem cresci e compartilhei dos melhores momentos. Obrigada por trazer felicidade aos meus dias, por toda cumplicidade e amor dedicado. Que eu possa ser, pra você, motivo de orgulho e inspiração. Espero contribuir para o seu crescimento quanto pessoa e na realização dos seus sonhos. Te amo imenso.

Agradeço aos demais familiares, em nome dos meus avós paternos Francisco Evaristo Sobrinho, Maria Honorata Dias da Cunha, e avós maternos Antônio Martins e Francisca Alves da Silva Martins, que torceram pelo meu sucesso e contribuíram para minha formação.

Agradeço, aos meus amigos de infância, pessoas que acompanharam o meu crescimento e com quem tenho a oportunidade de viver momentos incríveis. Gostaria de agradecer, de modo especial, ao meu amigo engenheiro Felipe Dácio pela sua contribuição para realização deste estudo. Agradeço, ainda, aos amigos que estiveram comigo todos os dias, colegas de jornada, de noites viradas, Fabrício Leite, Yago Tavares, Rennan Linhares, Thiago Ruan, e ainda, minhas meninas, Géssica Moura, Rafaela Marinho e Thalia Alves, vocês são especiais.

Agradeço a Rokátia Lorrany e Wellington Lorrán pela orientação, dedicação e conhecimentos repassados. Na oportunidade, gostaria de ressaltar a minha satisfação em trabalhar com excelentes pessoas e profissionais.

Agradeço a Banca Examinadora pela disponibilidade e aceitação para contribuir com a avaliação deste trabalho. De modo especial, ao amigo Alison Dantas, pessoa a quem tenho grande respeito e admiração.

Nunca se esqueça de agradecer a Deus todos os dias por sua vida e por suas conquistas e lembre-se de que ele jamais abandonará aqueles que acreditam em sua glória porque ele não erra nunca e acima de tudo ele é fiel sempre!

Ana Paula Magalhães

RESUMO

A avaliação da condição superficial de pavimentos consiste numa atividade fundamental para melhor gerir uma determinada malha rodoviária. Através desta, é possível identificar os defeitos de superfície que impossibilitam o pavimento de exercer, de forma eficiente, suas funções de projeto. A etapa de coleta de dados em campo representa a base do processo de avaliação. A partir das informações levantadas, o diagnóstico do estado funcional do pavimento é determinado. Com isso, alternativas de manutenção são delimitadas de acordo com a gravidade das manifestações patológicas encontradas. Todavia, coletar dados é um processo que necessita de uma equipe especializada e que pode ser bastante demorado a depender do método aplicado, bem como da extensão a ser avaliada. Dessa forma, o presente estudo propõe-se a utilizar imagens para mapeamento de manifestações patológicas em superfície de pavimentos asfálticos. A avaliação foi desenvolvida na rodovia RN-233 localizada no estado do Rio Grande do Norte (RN) no trecho que liga os municípios de Caraúbas/RN e Apodi/RN, sendo avaliado um segmento de 1 km de extensão. Para inspeção de defeitos na rodovia foram aplicadas as seguintes metodologias: Levantamento Visual Contínuo (LVC), mapeamento aéreo com uso de drone e levantamento através do uso de aparelho *smartphone*. No entanto, os procedimentos de cálculos para determinação do estado da superfície do pavimento foram realizados de acordo com as condições exigíveis pelo método LVC, fixado pela norma DNIT 008/2003. A partir dos dados levantados foi realizada análise comparativa dos métodos empregados. Verificou-se que o drone possibilitou detectar um maior número de ocorrência de defeitos se comparado aos outros métodos já mencionados, classificando o pavimento como péssimo, enquanto que com base nos dados dos outros dois métodos, o pavimento foi classificado como ruim. Quanto à viabilidade do uso de imagens para avaliação da condição de superfície de rodovias, o drone mostrou-se uma alternativa válida para o levantamento de defeitos, dispondo de qualidade nas informações. Já o vídeo feito com aparelho *smartphone* demonstrou limitações para identificação de defeitos menos severos.

Palavras-chave: Pavimentação asfáltica; Levantamento Visual Contínuo; Mapeamento aéreo; Manifestações patológicas.

ABSTRACT

The assessment of the surface condition of pavements is a fundamental activity to better manage a given road network. Through this, it is possible to identify surface defects that make it impossible for the pavement to efficiently perform its design functions. The field data collection stage represents the basis of the assessment process. From the information collected, the diagnosis of the functional state of the pavement is determined. Thus, maintenance alternatives are defined according to the severity of the pathological manifestations found. However, collecting data is a process that requires a specialized team and can be quite time-consuming depending on the method applied, as well as the extension to be evaluated. Thus, the present study proposes to use images for mapping pathological manifestations on the surface of asphalt pavements. The evaluation was carried out on the RN-233 highway located in the state of Rio Grande do Norte (RN) in the stretch that connects the municipalities of Caraúbas/RN and Apodi/RN, with a 1 km long segment being evaluated. For inspection of defects on the highway, the following methodologies were applied: Continuous Visual Survey (LVC), aerial mapping using a drone and survey using a smartphone device. However, the calculation procedures to determine the state of the pavement surface were carried out in accordance with the conditions required by the LVC method, established by the DNIT 008/2003 standard. From the data collected, a comparative analysis of the methods used was performed. It was found that the drone made it possible to detect a greater number of occurrences of defects compared to the other methods already mentioned, classifying the pavement as bad, while based on the data from the other two methods, the pavement was classified as bad. As for the feasibility of using images to assess the surface condition of highways, the drone proved to be a valid alternative for surveying defects, providing quality information. The video made with a smartphone device, on the other hand, showed limitations for identifying less severe defects.

Keywords: Asphalt paving; Continuous Visual Survey; Aerial mapping; Pathological manifestations.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: (a) Estrutura de pavimento flexível; (b) Distribuição das cargas	20
Figura 2: (a) Trinca Transversal; (b) Trinca Longitudinal; (c) Trinca de Retração	23
Figura 3: (a) Trinca “couro de jacaré”; (b) Trinca “bloco”	24
Figura 4: (a) Afundamento plástico da trilha de roda; (b) Afundamento de consolidação da trilha de roda	25
Figura 5: Ondulação	26
Figura 6: Escorregamento	27
Figura 7: Exsudação	27
Figura 8: Desgaste	28
Figura 9: Panela ou buraco	29
Figura 10: (a) Remendo mal executado; (b) Remendo executado corretamente	30
Figura 11: Representação esquemática com etapas do estudo	46
Figura 12: Trecho da rodovia que liga os municípios de Caraúbas e Apodi	47
Figura 13: Delimitação do trecho avaliado	48
Figura 14: Formulário para anotação dos defeitos	49
Figura 15: Drone DJI Mavic Mini.....	50
Figura 16: Aplicativo DJI Fly	50
Figura 17: Defeitos observados através do Método LVC	53
Figura 18: Defeitos identificados a partir da gravação de vídeo.....	56
Figura 19: Panelas	58
Figura 20: (a) Trincas isoladas; (b) "Couro de jacaré"	58
Figura 21: Remendos	59
Figura 22: Defeitos observados através do mapeamento com o uso do Drone.....	59
Figura 23: Indicação de defeitos no trecho	61
Figura 24: Quebra do pavimento para instalação de tubulações.....	67
Figura 25: Registro do trecho no ano de 2011	67
Figura 26: Registro do trecho no ano de 2019	68
Figura 27: Registro do trecho no ano de 2021	68

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Número de defeitos por método de coleta.....	63
Gráfico 2: Porcentagem de defeitos por subtrecho.....	65

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Detalhe e dimensões dos defeitos	62
---	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Condição do pavimento em função do IGG	37
Tabela 2: Frequência de defeitos	39
Tabela 3: Conceitos do ICPF.....	40
Tabela 4: Fator de Frequência	41
Tabela 5: Pesos de Cálculo.....	41
Tabela 6: Índice do Estado da Superfície do Pavimento	42
Tabela 7: Número de ocorrência por tipo de defeito – LVC.....	54
Tabela 8: Fatores e pesos considerados no cálculo do IGGE - LVC	55
Tabela 9: Número de ocorrência por tipo de defeito – smartphone	56
Tabela 10: Fatores e pesos considerados no cálculo do IGGE - smartphone.....	57
Tabela 11: Número de ocorrência por tipo de defeito – drone.....	60
Tabela 12: Fatores e pesos considerados no cálculo do IGGE - drone	61
Tabela 13: IES obtido em cada método de levantamento de dados	65

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil
CNT	Confederação Nacional do Transporte
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
DoD	Departamento de Defesa dos EUA
GPS	Sistema de Posicionamento Global
ICPF	Índice de Condição de Pavimentos Flexíveis ou semi-rígidos
IES	Índice do Estado de Superfície do pavimento
IGG	Índice de Gravidade Global
IGGE	Índice de Gravidade Global Expedito
LVC	Levantamento Visual Contínuo
ROA	Aeronave Operada Remotamente
RPA	Aeronave Remotamente Pilotada
RPV	Veículo Pilotado Remotamente
UAV	Unmanned Aerial Vehicle
UVS	Sistemas de Veículos Não Tripulados
VANT	Veículo Aéreo Não Tripulado

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	16
2. OBJETIVOS	18
2.1 OBJETIVO GERAL.....	18
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
3. REFERENCIAL TEÓRICO	19
3.1 PAVIMENTO	19
3.2 CLASSIFICAÇÃO DOS PAVIMENTOS	19
3.3 CAMADAS ESTRUTURAIS DOS PAVIMENTOS FLEXÍVEIS	20
3.4 DEFEITOS EM PAVIMENTOS FLEXÍVEIS	21
3.4.1 Terminologia e tipos de defeitos dos pavimentos flexíveis	21
3.4.1.1 Fendas.....	22
3.4.1.2 Afundamento.....	24
3.4.1.3 Ondulação ou corrugação	25
3.4.1.4 Escorregamento	26
3.4.1.5 Exsudação.....	27
3.4.1.6 Desgaste	28
3.4.1.7 Panela ou buraco	28
3.4.1.8 Remendo.....	29
3.5 MANUTENÇÃO DOS PAVIMENTOS.....	30
3.5.1 Conservação	31
3.5.1.1 Conservação corretiva rotineira	31
3.5.1.2 Conservação preventiva periódica	31
3.5.1.3 Conservação de emergência	31
3.5.2 Melhoramento	32
3.5.3 Recuperação do pavimento - restauração	32
3.5.4 Recuperação do pavimento - reabilitação	32
3.5.4.1 Recapeamento do pavimento	32
3.5.4.2 Reforço do pavimento	33
3.5.4.3 Reconstrução	33
3.6 TÉCNICAS DE MANUTENÇÃO ASFÁLTICA.....	33
3.6.1 Remendos.....	33
3.6.2 Selagem de trincas	33

3.6.3	Capa selante	34
3.6.4	Lama asfáltica	34
3.6.5	Camada porosa de atrito	35
3.6.6	Microrevestimento com mistura densa	35
3.6.7	Camada de microrevestimento asfáltico à frio com polímero	35
3.7	AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES DOS PAVIMENTOS	36
3.7.1	Avaliação da condição funcional	36
3.8	AVALIAÇÃO OBJETIVA DA SUPERFÍCIE PELA DETERMINAÇÃO DO IGG	37
3.8.1	Índice de Gravidade Global – IGG	37
3.9	LEVANTAMENTO VISUAL CONTÍNUO - LVC	38
3.9.1	Condições gerais do levantamento	38
3.9.2	Cálculo do Índice da Condição do Pavimento Flexível - ICPF	39
3.9.3	Cálculo do Índice de Gravidade Global Expedito – IGGE	40
3.9.4	Cálculo do Índice do Estado da Superfície do Pavimento – IES	41
3.10	VEÍCULOS AÉREOS NÃO TRIPULADOS – VANT's	42
3.10.1	Definição	43
3.10.2	Classificação dos VANT's	43
3.10.3	Aplicação dos VANT's	44
3.10.4	Requisitos gerais para operação de RPA Classe 3	44
4.	METODOLOGIA	46
4.1	DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	47
4.2	COLETA DE DADOS	48
4.2.1	Levantamento Visual Contínuo - LVC	48
4.2.2	Levantamento de defeitos com uso de aparelho <i>smartphone</i>	49
4.2.3	Mapeamento de defeitos asfálticos com uso de drone	49
4.3	CÁLCULOS PARA AVALIAÇÃO DO PAVIMENTO	51
4.3.1	Cálculo do Índice de Condição dos Pavimentos Flexíveis e semi-rígidos – ICPF	51
4.3.2	Cálculo do Índice de Gravidade Global Expedito – IGGE	51
4.3.3	Cálculo do Índice do Estado da Superfície do pavimento - IES	52
5.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	53
5.1	ANÁLISE DOS DADOS OBTIDOS COM O MÉTODO LVC	53
5.2	ANÁLISE DOS DADOS LEVANTADOS COM O <i>SMARTPHONE</i>	55
5.3	ANÁLISE DOS DADOS LEVANTADOS COM O DRONE	59
5.4	COMPARATIVO ENTRE OS MÉTODOS DE COLETA DE DADOS	63

5.5 ANÁLISE DO TRECHO POR SEGMENTOS	65
5.6 POSSÍVEIS CAUSAS DOS DEFEITOS INVENTARIADOS	66
5.7 EVOLUÇÃO DOS DEFEITOS NA SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO.....	67
6. CONCLUSÃO.....	69
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	71
ANEXO A - QUADRO RESUMO DOS DEFEITOS.....	74

1. INTRODUÇÃO

A infraestrutura rodoviária desempenha importante papel para o crescimento econômico e social de um país. A qualidade e eficiência de um sistema de transporte, nos diferentes modais existentes, potencializa o setor de produção e favorece a sociedade como um todo. No Brasil, o modal rodoviário constitui o principal sistema da matriz de transportes, sendo responsável pela maior parte do fluxo de bens e mercadorias (61%) e deslocamento de pessoas (95%), conforme a Confederação Nacional do Transporte (CNT, 2019).

A malha rodoviária brasileira apresentou maior ampliação nas décadas de 60 e 70 - período em que 20% do total de custos do setor público foi atribuído a serviços de construção e manutenção de estradas, de acordo com o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT, 2005). Atualmente, com base na pesquisa de rodovias realizada pela (CNT, 2019), o Brasil possui uma rede viária de 1.720.700 km, incluindo rodovias federais, estaduais e municipais.

Para que o transporte rodoviário funcione de forma eficiente é necessário que os pavimentos apresentem bom estado de conservação, tendo em vista que o surgimento de irregularidades na superfície asfáltica é percebido facilmente e proporciona ao usuário condições insuficientes de segurança e conforto (BERNUCCI *et al.*, 2010).

Segundo o DNIT (2003), a serventia de uma rodovia refere-se à capacidade do pavimento de possibilitar, na opinião do usuário, rolamento suave e confortável em qualquer condição de tráfego. O valor da serventia é diminuído em razão da incidência de manifestações patológicas, que por sua vez, são caracterizadas como defeitos - podem ser desenvolvidos por falhas construtivas ou erros de projeto, perda da capacidade de suporte em função do tempo e ação de agentes do intemperismo – que impossibilitam o pavimento de cumprir os encargos para qual fora projetado. Por esse motivo, é necessário inspecionar as condições dos pavimentos periodicamente a fim de diagnosticar o estado superficial do mesmo e corrigir quaisquer manifestações patológicas existentes de modo a evitar a sua inutilização.

Apesar da importância desse modo na matriz de transporte do país, a degradação precoce das vias de tráfego tem sido percebida com muita frequência, e representa um conceito negativo para a economia. O desgaste dos pavimentos gera impacto direto sobre os usuários, tais como a elevação do índice de acidentes, acréscimos no custo operacional dos veículos com o aumento do consumo de combustível, aumento de custos com manutenção, entre outros. Estes problemas reforçam a necessidade de priorização desse setor nas políticas públicas e melhoria na gestão da infraestrutura rodoviária.

Estudos realizados pela CNT (2019) apontaram que, de 108.863 km de vias pavimentadas da malha rodoviária do Brasil, foram identificados algum tipo de problema em 64.198 km (59,0%), que equivale ao somatório de rodovias classificadas como regular (37.628 km), ruim (19.039 km) e péssimo (7.531 km). No Nordeste, 28.855 km foram avaliados e, somente 11.760 km (40,8%) apresentaram estado de rodovia ótimo e bom. O restante das rodovias (59,2%) é classificado variando de regular a péssima.

Neste contexto, considerando a precariedade da malha viária na região Nordeste, é importante realizar o levantamento de dados que possibilitem a análise das condições funcionais dessas vias. A elaboração de um diagnóstico bem fundamentado contribui de maneira expressiva na tomada de decisão quanto a melhor técnica a ser empregada para correção de defeitos em pavimentos. No entanto, a pesquisa em campo consiste num processo dispendioso que demanda custos com equipe especializada e que, a depender da extensão da malha, trata-se também de um procedimento demorado. Portanto, é fundamental desenvolver alternativas que tornem possível a avaliação do estado da superfície dos pavimentos de forma rápida e confiável.

Segundo a CNT (2019), 26,6% da malha do estado do RN encontra-se em estado péssimo/ruim. Para tanto, o presente estudo busca avaliar o uso de imagens como uma alternativa prática que possibilite acelerar o processo de coleta de dados em campo. Um trecho da rodovia RN-233 localizada no estado do Rio Grande do Norte (RN) será utilizado para testar o método a ser proposto.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Propor o uso de imagens para mapeamento de defeitos em superfície de pavimentos asfálticos.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar os principais defeitos existentes em trecho da rodovia RN-233 utilizando o método de Levantamento Visual Contínuo (LVC);
- Analisar a viabilidade do uso de drone como uma ferramenta de auxílio para inspeção de defeitos em pavimentos;
- Verificar a viabilidade do uso de aparelho *smartphone* como ferramenta de auxílio para inspeção de defeitos em pavimentos;
- Apontar as possíveis causas dos defeitos ocorrentes no trecho avaliado;
- Propor alternativas de manutenção para correção dos defeitos levantados.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta seção será apresentada a fundamentação teórica que serviu como base para o desenvolvimento do estudo, sendo na oportunidade discorridos conceitos relacionados ao pavimento e suas classificações, estrutura de pavimentos flexíveis, defeitos que ocorrem nos pavimentos flexíveis, métodos que podem ser empregados para avaliação da superfície de pavimentos e técnicas de manutenção asfáltica.

3.1 PAVIMENTO

De acordo com o DNIT (2006), pavimento é uma superestrutura formada por um sistema de camadas com espessuras determinadas e assentadas sobre a infraestrutura ou terreno de fundação - espaço denominado de subleito. É destinada, técnica e economicamente, a resistir e distribuir ao subleito os esforços verticais provenientes do tráfego; oferecer melhor condição de rolamento no que diz respeito ao conforto e comodidade; resistir aos esforços horizontais (desgaste) de modo que a superfície de rolamento apresente maior durabilidade.

3.2 CLASSIFICAÇÃO DOS PAVIMENTOS

Conforme o manual de pavimentação do DNIT (2006) os pavimentos são classificados em flexível, semirrígido e rígido, de acordo com o tipo de material utilizado:

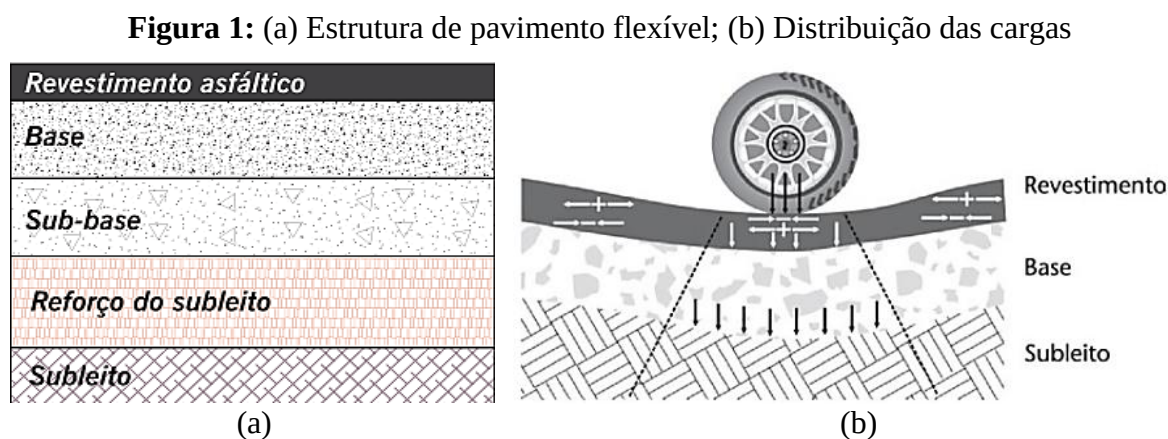
- Flexível – são constituídos por materiais granulares (base de brita ou solo pedregulhoso) e revestimento asfáltico. Quando submetidos a esforços na superfície, todas as camadas sofrem deformação elástica considerável, e por isso, o carregamento se distribui entre as camadas de maneira uniforme;
- Semirrígido – são caracterizados por possuírem revestimento asfáltico e camada de base ou sub-base composta por material ligante com propriedades cimentícias;
- Rígido – são pavimentos em que o revestimento apresenta grau de rigidez elevado quando comparado às camadas inferiores e, em consequência disso, absorve praticamente a maior parte das tensões aplicadas. De modo geral, são formados por lajes de concreto de cimento Portland que atuam como revestimento e camada de base simultaneamente.

3.3 CAMADAS ESTRUTURAIS DOS PAVIMENTOS FLEXÍVEIS

As camadas que formam o pavimento possuem um ou mais encargos específicos que devem oferecer aos veículos condições apropriadas de suporte e rolamento em diferentes situações climáticas. Os esforços solicitados na superfície provocam determinado estado de tensões na estrutura que irão depender do comportamento mecânico de cada camada e agrupamento destas (BALDO, 2007).

Os esforços do tráfego devem ser transferidos de uma camada para outra e suportados por estas. A espessura das camadas e rigidez dos materiais são fatores que influenciam nas tensões e deformações que a estrutura está sujeita. De modo geral, a estrutura tipo de um pavimento flexível compreende camadas de revestimento, base, sub-base, reforço do subleito e subleito. Existem situações em que, dependendo da resistência das camadas de base e subleito, condições ambientais e volume de tráfego, pode ser desconsiderado o uso de sub-base ou reforço do subleito (BERNUCCI *et al.*, 2010).

Na Figura 1 é apresentada a estrutura tipo de um pavimento flexível (Figura 1a) e a distribuição dos esforços ao longo das camadas (Figura 1b).



Fonte: Adaptado de Bernucci *et al.* (2010) e Baldo (2007)

O revestimento consiste na camada superior do pavimento destinada a receber, de forma direta, a carga dos veículos e ação de agentes externos. Desse modo, essa camada deve ser impermeável e apresentar resistência aos esforços da união pneu-pavimento em movimento, que por sua vez, podem variar conforme a velocidade dos veículos e carregamento aplicado (BERNUCCI *et al.*, 2010).

Subjacente ao revestimento asfáltico se encontra a camada de base, cuja função é resistir aos esforços verticais procedentes dos veículos e distribuí-los de maneira adequada para as

camadas complementares de sub-base e reforço do subleito, que por sua vez, deverão estar devidamente regularizadas e compactadas (DNIT, 2010). O subleito é o terreno de fundação onde serão apoiadas as camadas que integram a estrutura do pavimento (DNIT, 2006).

3.4 DEFEITOS EM PAVIMENTOS FLEXÍVEIS

Conforme Bernucci *et al.* (2010) os defeitos consistem em danos ou deteriorações na superfície dos pavimentos asfálticos que podem ser observados facilmente e classificados de acordo com uma nomenclatura normatizada (DNIT 005/2003 – TER). A identificação desses defeitos objetiva a avaliação do estado de conservação dos pavimentos e através do reconhecimento da sua situação funcional são sugeridas alternativas de correção para as irregularidades aferidas.

Bernucci *et al.* (2010) aponta que a estrutura do pavimento está exposta a inúmeras solicitações de carga que devem estar previstas em projeto, de maneira que este sistema consiga atender, satisfatoriamente, às ações do tráfego e não haja perda prematura da sua capacidade funcional e estrutural. Em vista disso, é fundamental que se tenha conhecimento a respeito das propriedades dos materiais que irão ser utilizados na pavimentação, sua resistência à ruptura, permeabilidade e deformabilidade, perante às questões climáticas e repetição de carga.

Fontes (2009) destaca que os insumos empregados na construção de pavimentos possuem diferentes meios de deterioração. Os defeitos desenvolvidos numa rodovia podem ser decorrentes de diversas causas, sendo erros na elaboração e execução de projetos, intensidade do tráfego, condições climáticas e falhas na escolha dos materiais, fatores que contribuem fortemente para o surgimento de manifestações patológicas que impossibilitam a estrutura de desempenhar suas funções corretamente.

3.4.1 Terminologia e tipos de defeitos dos pavimentos flexíveis

O DNIT (2003) através da norma DNIT 005/2003 – TER (Defeitos nos pavimentos flexíveis e semi-rígidos – Terminologia) define os termos técnicos adotados em defeitos que ocorrem nos pavimentos flexíveis e semirrígidos. No Anexo A deste trabalho é mostrado um quadro resumo com as nomenclaturas dos defeitos e suas respectivas codificações e classificações.

3.4.1.1 Fendas

Fendas consistem em irregularidades ocorridas na superfície asfáltica que conduzem a aberturas de pequeno ou grande porte, manifestando-se de diferentes maneiras, sendo classificadas em fissuras e trincas (DNIT, 2003).

As fissuras são fendas iniciais de largura capilar perceptíveis apenas a uma distância inferior de 1,50 m, dispostas longitudinal, transversal ou obliquamente ao eixo da via de trânsito. Já as trincas se desenvolvem no revestimento com abertura superior à da fissura, podendo ser vistas naturalmente. Se apresentam na forma de trinca isolada e trinca interligada (DNIT, 2003).

3.4.1.1.1 *Trinca isolada transversal*

Trinca isolada que expressa direção perpendicular em relação ao eixo da via. Quando se alonga para um comprimento de até 100 cm é caracterizada como trinca transversal curta e quando apresenta extensão superior a 100 cm é caracterizada como trinca transversal longa (DNIT, 2003).

Esse defeito pode ser ocasionado por motivos relacionados à contração da manta asfáltica, causada devido a baixas temperaturas ou endurecimento do asfalto e, desenvolvimento de trincas presentes nas camadas inferiores ao revestimento da rodovia (CNT, 2018).

3.4.1.1.2 *Trinca isolada longitudinal*

Trinca isolada que se manifesta em sentido paralelo ao eixo da via. No caso de apresentar extensão de até 100 cm é nomeada por trinca longitudinal curta, em contrapartida, se a extensão for superior a 100 cm é denominada de trinca longitudinal longa (DNIT, 2003).

Segundo Bernucci *et al.* (2010) a ocorrência de trincas isoladas longitudinais está relacionada a erros na execução, temperatura de compactação ou doseamento do composto asfáltico, envelhecimento do aglutinante e recalques diferenciais.

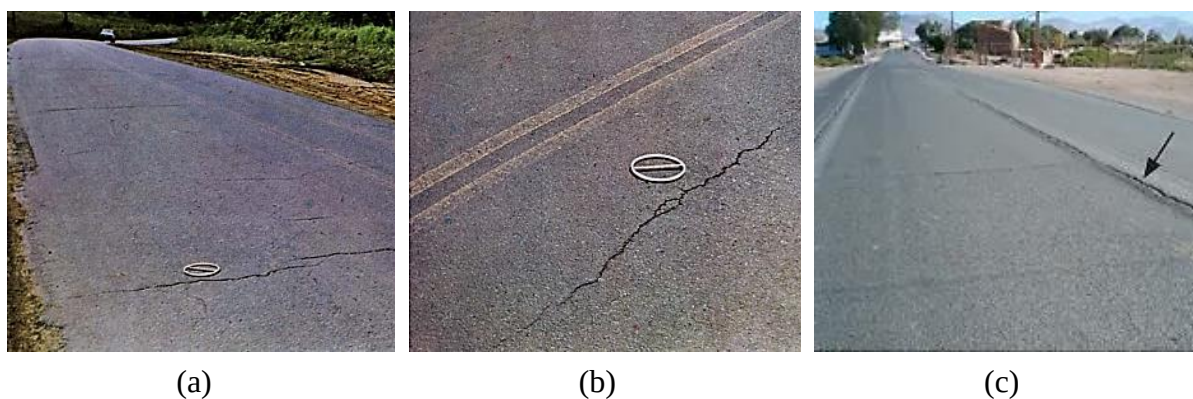
3.4.1.1.3 Trinca isolada de retração

Trinca isolada que não têm causas atribuídas ao fenômeno de fadiga, e sim, à retração térmica do material da camada de revestimento, ou ainda, do material da base rígida ou semirrígida, dispostas abaixo do revestimento trincado (DNIT, 2003).

Conforme descrito no manual de conservação rodoviária o trincamento por efeito da variação da temperatura é resultado da combinação da retração térmica e da rigidez elevada do material betuminoso, que acontece quando a temperatura reduz de maneira considerável (DNIT, 2006).

Na Figura 2 são mostradas as trincas isoladas transversais (Figura 2a), longitudinais (Figura 2b) e de retração (Figura 2c).

Figura 2: (a) Trinca Transversal; (b) Trinca Longitudinal; (c) Trinca de Retração



Fonte: Adaptado do DNIT (2003)

3.4.1.1.4 Trinca interligada tipo “couro de jacaré”

Agrupamento de trincas interligadas que se mostram em diferentes direções, com aspecto semelhante ao couro de jacaré. Pode acontecer ou não erosão acentuada nas bordas dessas trincas (DNIT, 2003).

Segundo Bernucci et al. (2010) existem diversas causas responsáveis pela ocorrência de trincas do tipo “couro de jacaré”, sendo destacada a repetição das ações do tráfego, interferências climáticas, envelhecimento do ligante e perda de flexibilidade pelo tempo de exposição, ou ainda, excesso de temperatura na usinagem, deficiência na compactação do revestimento e quantidade do ligante asfáltico, subdimensionamento, recalques diferenciais e entre outros.

3.4.1.1.5 Trinca interligada tipo “bloco”

É caracterizada por um agrupamento de trincas interligadas em formato de blocos irregulares, que podem ou não, apresentar erosão acentuada nas suas extremidades (DNIT, 2003). A formação de trincas em “bloco” acontece como resultado da retração da cobertura asfáltica devido a variações diárias de temperatura e baixa resistência à tração da mistura asfáltica (CNT, 2018).

Na Figura 3 são apresentadas as trincas interligadas tipo “couro de jacaré” (Figura 3a) e tipo “bloco” (Figura 3b).

Figura 3: (a) Trinca “couro de jacaré”; (b) Trinca “bloco”



Fonte: Adaptado do DNIT (2003)

3.4.1.2 Afundamento

Defeito decorrente de deformações permanentes representadas por depressões na superfície do pavimento, acompanhadas, ou não, de levantamento (compensação volumétrica lateral), e podem se apresentar na forma de afundamento plástico ou de consolidação (DNIT, 2003).

3.4.1.2.1 Afundamento plástico

Deformação permanente causada pela fluência plástica de uma ou mais camadas do pavimento, incluindo o subleito, acompanhada de levantamento. Quando possuir extensão de até 6 m é denominada afundamento plástico local. Por outro lado, no caso de apresentar extensão superior a 6 m e estar localizada ao longo da trilha de roda é denominada afundamento plástico da trilha de roda (DNIT, 2003).

Alguns dos fatores que levam ao acontecimento desse evento são falhas na dosagem da mistura asfáltica, caracterizada pela quantidade demasiada de ligante; e falhas na escolha do tipo de revestimento asfáltico para o carregamento solicitado (BERNUCCI *et al.*, 2010).

3.4.1.2.2 Afundamento de consolidação

Deformação permanente ocasionada pela consolidação diferencial de uma ou mais camadas do pavimento, incluindo o subleito, não sendo acompanhada de solevamento. Quando possuir extensão de até 6 m é denominada afundamento de consolidação local, em contrapartida, no caso de apresentar extensão superior a 6 m e estar localizada ao longo da trilha de roda é denominada afundamento de consolidação da trilha de roda (DNIT, 2003).

O afundamento de consolidação pode ser manifestado devido a densificação ou ruptura por cisalhamento de camadas inferiores ao revestimento, deficiência no processo construtivo, compactação insuficiente e dificuldades na drenagem (BERNUCCI *et al.*, 2010).

Na Figura 4 são expostos defeitos do tipo afundamento plástico da trilha de roda (Figura 4a) e afundamento de consolidação da trilha de roda (Figura 4b).

Figura 4: (a) Afundamento plástico da trilha de roda; (b) Afundamento de consolidação da trilha de roda



Fonte: Adaptado de Bernucci *et al.* (2010)

3.4.1.3 Ondulação ou corrugação

Deformação caracterizada por ondulações ou corrugações transversais ao eixo do pavimento (DNIT, 2003). De acordo com o manual de restauração de pavimentos asfálticos, os problemas relacionados a ondulação ou corrugação podem ser causados por instabilidade da mistura betuminosa do revestimento ou da base, umidade excedente nas camadas subjacentes,

contaminação da mistura asfáltica por materiais desconhecidos e retenção de água na mistura asfáltica (DNIT, 2006).

Na Figura 5 é apresentado um defeito do tipo ondulação na superfície de um pavimento asfáltico.

Figura 5: Ondulação



Fonte: DNIT (2003)

3.4.1.4 Escorregamento

Deslocamento do revestimento em relação à camada inferior do pavimento, sendo identificado o surgimento de fendas no formato de meia-lua (DNIT, 2003).

O escorregamento é decorrente da ligação inadequada entre revestimento e camada subjacente, inércia limitada do revestimento em razão da sua espessura reduzida, deficiência na compactação e deformação plástica do revestimento em virtude de temperaturas elevadas. Essa irregularidade é comum em lugares aclives ou declives da rodovia, curvas horizontais de raio pequeno, paradas de ônibus ou obstáculos, como lombadas ou sinalizadores, tendo em vista que são regiões de aceleração ou desaceleração dos veículos (DNIT, 2006).

Na Figura 6 é apresentado um defeito do tipo escorregamento na superfície de um pavimento asfáltico.

Figura 6: Escorregamento



Fonte: DNIT (2003)

3.4.1.5 Exsudação

Caracterizada pelo surgimento excessivo de ligante betuminoso na superfície do pavimento devido à migração do material betuminoso através do revestimento (DNIT, 2003).

Bernucci *et al.* (2010) comenta que a exsudação acontece devido a erros na dosagem, excesso de ligante em alguns pontos e/ou de maneira generalizada; segregação de material, com concentração de aglutinante em determinados locais e ausência em outros; cravação de agregados na base e ascendência de ligante a superfície.

Segundo o DNIT (2006) as razões para o acontecimento da exsudação são a dosagem inadequada da mistura asfáltica e a temperatura do ligante superior a especificada no instante da mistura. Na Figura 7 é exibido o fenômeno de exsudação na camada asfáltica.

Figura 7: Exsudação



Fonte: Bernucci *et al.* (2010)

3.4.1.6 Desgaste

Defeito que se caracteriza pelo arrancamento do agregado que compõe o revestimento, tornando a sua superfície áspera, sendo resultado dos esforços tangenciais gerados pelo tráfego (DNIT, 2003). É consequência do atrito das rodas dos veículos em conjunto do enfraquecimento dos materiais ligantes (DNIT, 2005).

Estão associadas às principais causas do desgaste: a perda de adesividade entre o ligante asfáltico e o agregado; presença de água no interior da camada de revestimento; quantidade insuficiente de ligante e falhas no processo de execução (CNT, 2018).

Na Figura 8 é exibida a superfície de um pavimento com desprendimento de agregados.

Figura 8: Desgaste



Fonte: DNIT (2003)

3.4.1.7 Panela ou buraco

Cavidade formada no revestimento asfáltico que pode atingir as camadas subjacentes do pavimento e promover a desagregação destas (DNIT, 2003). A panela ou buraco consiste na evolução de outros tipos de defeitos já existentes na rodovia, em principal, fendas, afundamentos e desgastes, que por sua vez, permitem o acúmulo de água, acelerando a deterioração do revestimento (RIBEIRO, 2017).

Bernucci *et al.* (2010) menciona que falhas no processo construtivo, deficiência na compactação, camadas do solo com excesso de umidade, falhas na imprimação (aplicação de material asfáltico sobre a superfície da base finalizada e que antecipa a execução do revestimento), desagregação por erros ou insuficiência na dosagem são fatores que podem contribuir para a formação de painelas.

No manual de conservação rodoviária são destacadas como principais causas para a ocorrência de panelas o excesso de carga por eixo dos veículos, deficiência de projeto, deficiência na fase de construção, ação da água devido à infiltração (DNIT, 2005).

Na Figura 9 é mostrado um defeito do tipo panela ou buraco em uma superfície asfáltica.

Figura 9: Panela ou buraco



Fonte: DNIT (2003)

3.4.1.8 Remendo

Medida de conservação da superfície do pavimento que se caracteriza pelo preenchimento de panelas ou qualquer outra depressão (DNIT, 2003). Embora seja entendida como uma atividade de manutenção que assegure a estabilidade do pavimento é considerado um defeito por indicar um ponto de vulnerabilidade do revestimento e por comprometer as condições de rolamento (BERNUCCI *et al.*, 2010).

A CNT (2018) destaca como principais causas para deterioração desse evento a carga do tráfego, utilização de materiais com qualidade reduzida, ação do meio ambiente e falhas construtivas.

3.4.1.8.1 Remendo profundo

Serviço de substituição do revestimento e, possivelmente, de uma ou mais camadas que constituem a estrutura da rodovia. Geralmente apresenta formato retangular (DNIT, 2003).

3.4.1.8.2 Remendo superficial

Serviço de correção em uma área determinada da superfície do revestimento através da aplicação de uma camada de ligante betuminoso (DNIT, 2003).

Na Figura 10 é ilustrada a correção de uma panela com o emprego de remendo superficial, sendo, também, realizado um comparativo no processo de execução.

Figura 10: (a) Remendo mal executado; (b) Remendo executado corretamente



Fonte: Bernucci *et al.* (2010)

3.5 MANUTENÇÃO DOS PAVIMENTOS

De acordo com Gonçalves (1999) a manutenção comporta todas as intervenções que afetem, direta ou indiretamente, a serventia atual ou comportamento futuro do pavimento. Pode ser subdividida em dois grupos: a conservação e a restauração. Existe, ainda, um terceiro grupo que é a reconstrução, utilizada quando as demais estratégias de intervenção já não se mostram aplicáveis, isto é, em casos de perda total do pavimento.

Compreende um processo sistemático a que, de forma contínua, deve ser submetida uma Rodovia, no sentido de que esta, de conformidade com suas funções e magnitude de tráfego, venha a oferecer ao usuário, permanentemente, um tráfego econômico, confortável e seguro, em consonância com competentes preceitos de otimização técnico-econômica do “Custo Total de Transporte” (DNIT, 2006, p.28).

Ainda conforme o DNIT (2006) a manutenção se unifica através de ações sistemáticas e programadas, apontando 4 grupos básicos, sendo eles:

- Conservação da rodovia;
- Introdução de melhoramento dos sistemas de proteção da infraestrutura e/ou drenagem e/ou dispositivos de segurança e obras complementares;

- Recuperação do pavimento através de sua restauração;
- Recuperação do pavimento através de sua reabilitação.

3.5.1 Conservação

De acordo com o manual de restauração de pavimentos asfálticos, a conservação dos pavimentos pode ser entendida como um conjunto de serviços rotineiros, periódicos e emergenciais reservados à preservação das características técnicas, físicas e operacionais da infraestrutura rodoviária, fazendo com que a mesma cumpra com suas funções dentro do parâmetro de durabilidade para o qual foi projetado (DNIT, 2006).

3.5.1.1 Conservação corretiva rotineira

Conjunto de operações que tem por finalidade reparar ou sanar um defeito, de modo que a rodovia restabeleça suas condições de funcionamento. Dentre os serviços que se enquadram na conservação rotineira, pode-se mencionar: remendos e selagem de trincas (DNIT, 2006).

3.5.1.2 Conservação preventiva periódica

Conjunto de operações de conservação realizadas periodicamente com o propósito de refrear o aparecimento ou agravamento de defeitos. Consiste numa atividade solicitada durante o ano, no entanto, a frequência de execução depende do tráfego, topografia e efeitos climáticos (DNIT, 2006).

Os serviços regulares de conservação referentes à pista de rolamento compreendem a aplicação de capa selante, lama asfáltica, camadas porosas de atrito e recapeamentos esbeltos com misturas densas (DNIT, 2006).

3.5.1.3 Conservação de emergência

Conjunto de operações que objetivam a recomposição, reconstrução ou restauração de trechos que tenham sido seccionados, obstruídos ou danificados por um evento extraordinário ou catastrófico, comprometendo a trafegabilidade da rodovia ou ocasionando a sua interrupção (DNIT, 2006).

3.5.2 Melhoria

De acordo com o DNIT (2006) melhoria é o conjunto de operações que acrescentam novas características às rodovias ou modificam as características já existentes, tendo como objetivo:

- O atendimento às demandas operacionais que contemplam, especialmente, a geometria da via e/ou o sistema de sinalização e de segurança do tráfego;
- A adequação ou incorporação de elementos de drenagem e de proteção da infraestrutura e/ou de obras complementares.

3.5.3 Recuperação do pavimento - restauração

Processo a ser empregado em um pavimento que ainda dispõe de devida habilitação, porém, em consonância com os índices de desempenho se aproximam do estágio final do ciclo de vida. Compreende um conjunto de atividades destinadas a restabelecer a condição funcional da rodovia, bem como suas características técnicas originais. (DNIT, 2006).

3.5.4 Recuperação do pavimento - reabilitação

Processo a ser aplicado em um pavimento que apresenta anormalidades funcionais e estruturais irreversíveis e que, conforme indicadores temporais e/ou de desempenho excedeu o estágio final do ciclo de vida, não desfrutando, assim, da devida habilitação (DNIT, 2006).

3.5.4.1 Recapeamento do pavimento

Intervenção que compreende a adequada sobreposição de uma ou mais camadas de mistura betuminosa e/ou concreto de cimento Portland ao pavimento existente. Esta sobreposição proporciona ao pavimento contribuição estrutural, que o mantém apto a exercer, em continuidade, um novo ciclo de vida, em conformação com os princípios técnico-econômicos (DNIT, 2006).

3.5.4.2 Reforço do pavimento

Aporte estrutural formado por uma ou mais camadas betuminosas que deve ser colocado sobre um pavimento depois de realizadas as correções superficiais necessárias, com o objetivo de conferir ao mesmo a capacidade de cumprir um novo ciclo de vida (DNIT, 2006).

3.5.4.3 Reconstrução

Modo de intervenção que consiste na retirada total ou parcial da espessura do pavimento, podendo alcançar o subleito, para na sequência, executar novas camadas estruturais (DNIT, 2006).

Segundo Gonçalves (1999) as técnicas de reconstrução são empregadas em situações em que os custos de uma restauração superam os da reconstrução do pavimento; quando não há confiabilidade suficientemente aceitável para o desempenho do pavimento restaurado; e mudança de traçado na rodovia pela necessidade de uma elevação de padrão operacional.

3.6 TÉCNICAS DE MANUTENÇÃO ASFÁLTICA

3.6.1 Remendos

Os remendos são executados por meio da colocação de misturas betuminosas à quente ou a frio, em buracos resultantes da deterioração natural ou de escavações realizadas por pessoal técnico para aplicação adequada do material. Essa atividade de conservação é finalizada pela compactação, selagem dos bordos e limpeza (DNIT, 2006).

De acordo com o DNIT (2006) os remendos são apropriados para o reparo de painéis ou buracos, recomposição de segmentos com trincamento por fadiga ou, reperfilamento ou reparos localizados para a regularização prévia da superfície, quando da execução de recapeamentos asfálticos.

3.6.2 Selagem de trincas

A selagem de trincas é caracterizada pelo preenchimento de trincas e fissuras do revestimento, sendo empregados materiais como cimentos asfálticos, asfaltos diluídos,

emulsões ou selantes especiais para impossibilitar a introdução de água nas camadas inferiores (DNIT, 2006).

Práticas de selagem criteriosas podem auxiliar no controle do defeito manifestado de maneira que este seja sustentado em baixos níveis de extensão e/ou severidade. No que se refere a estruturas de pavimentos com base e/ou subleito drenante, esta técnica de conservação pode se apresentar como ineficiente (DNIT, 2006).

3.6.3 Capa selante

A capa selante consiste em um serviço por penetração invertida, uma vez que envolve a aplicação de material asfáltico e, na sequência, aplicação de agregado miúdo, tendo como principal finalidade melhorar as condições de impermeabilização da camada de revestimento. Influencia, também, na macrotextura dos revestimentos, além de assegurar melhores condições de segurança. É aplicada sobre tratamentos superficiais, macadames asfálticos, pré-misturados de textura aberta e misturas densas desgastadas pela ação do tráfego e de intempéries (DNIT, 2006).

Segundo o DNIT (2006) os materiais utilizados na execução da capa selante, são:

- a) Material asfáltico: emulsões catiônicas (RR-2C, RR-1C);
- b) Agregado miúdo (areia ou pó de pedra).

3.6.4 Lama asfáltica

A lama asfáltica é a mistura que resulta da combinação, em consistência fluida, de agregados ou mistura de agregados miúdos, material de enchimento ("filler"), água e emulsão asfáltica. A consistência de lama asfáltica e a graduação dos agregados possibilita que a mistura seja aplicada em espessuras bastante finas. Este serviço contribui, isoladamente ou em conjunto, para o rejuvenescimento de revestimentos porosos e/ou fissurados e impermeabilização (DNIT, 2006).

Segundo Gonçalves (1999, p.49) “a lama asfáltica não permite nenhuma correção da irregularidade da via e conduz a um revestimento que não é muito rugoso, sendo, portanto, bem conveniente para a conservação de vias urbanas.”

3.6.5 Camada porosa de atrito

Em conformidade com o DNIT (2006), a camada porosa de atrito é uma mistura asfáltica à quente ou a frio que tem como principal vantagem promover uma superfície de maior aderência. É caracterizada por possuir um percentual elevado de agregados de mesma granulometria, situação que garante um alto teor de vazios na mistura (15% a 25%). Apesar desta técnica de manutenção conduzir bons resultados no que se refere a aderência e redução da película de água na superfície, geralmente, apresentam envelhecimento e deterioração por abrasão, quando projetadas com base em ligantes convencionais.

3.6.6 Microrevestimento com mistura densa

Existem circunstâncias em que as técnicas de resselagem não são suficientes para o reparo de deficiências superficiais, como afundamentos e desgastes mais críticos, sendo, portanto, necessária a aplicação de uma fina camada de revestimento betuminoso - serviço denominado de recapeamento (DNIT, 2006).

Em concordância com o DNIT (2006) o recapeamento é utilizado para corrigir uma diversidade de deficiências superficiais do pavimento, tendo como propósito elevar o desempenho funcional do pavimento. São exemplos de defeitos corrigidos:

- Polimento da superfície nas trilhas de roda, que resulta em decréscimo do coeficiente de atrito;
- Pequenas irregularidades longitudinais do pavimento, que não são defeitos associados com o carregamento;
- Inadequada declividade transversal, que resulta em problemas de drenagem superficial;
- Defeitos relacionados com as condições ambientais, tais como trincamento em bloco, desagregação e intemperismo.

3.6.7 Camada de microrevestimento asfáltico à frio com polímero

Para Bernucci *et al.* (2010) o microrevestimento é um procedimento que pode ser considerado a evolução da lama asfáltica, levando em consideração que usa composição semelhante, no entanto, acrescido de emulsões modificadas por polímeros elastoméricos.

O microrevestimento asfáltico é bastante similar à lama asfáltica, apresentando as mesmas finalidades e facilidades executivas, contudo, é mais durável devido a sua composição e possui maior exigência em relação às especificações de drenagem (DNIT, 2006).

3.7 AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES DOS PAVIMENTOS

A avaliação das condições de um pavimento envolve um conjunto de atividades que tem por finalidade a obtenção de informações e parâmetros que possibilitem diagnosticar problemas existentes e conhecer o desempenho apresentado pela superestrutura, de maneira que seja possível identificar as necessidades de manutenção e as consequências da implantação de técnicas alternativas de manutenção (GONÇALVES, 1999).

A avaliação da superfície consiste em aferir as condições funcionais e estruturais dos pavimentos por meio da identificação das patologias ou defeitos presentes na superfície do pavimento. É realizada por meio de procedimentos padronizados de medidas e inspeções. Os defeitos considerados são aqueles provenientes do processo de deterioração causados por uma gama de fatores como tráfego, clima, processos construtivos e características físicas dos materiais. Estes fatores podem atuar separados ou concomitantemente (DANIELESKI, 2004, p. 17).

Existem diversos métodos para avaliação, sendo que a preferência por uma metodologia está de acordo com as características e particularidades dos pavimentos e objetivos pretendidos (DANIELESKI, 2004). Gonçalves (1999) enfatiza que no Brasil, de modo geral, as condições da superfície dos pavimentos flexíveis são avaliadas através da aplicação do método do Índice de Gravidade Global (IGG).

3.7.1 Avaliação da condição funcional

Na avaliação funcional é analisada a situação da superfície do pavimento através do levantamento dos defeitos superficiais e da condição de irregularidade longitudinal. Para tanto, são observados defeitos como trincamento, irregularidade longitudinal e deformações permanentes (BERNUCCI *et al.*, 2010).

Segundo o manual de restauração de pavimentos asfálticos do DNIT,

Conceitua-se Irregularidade Longitudinal de um Pavimento ou, simplesmente, Irregularidade, como “o conjunto dos desvios da superfície do pavimento em relação a um plano de referência” – desvios estes que, entre vários outros inconvenientes, afetam a qualidade do rolamento e a ação dinâmica das cargas sobre a via (DNIT, 2006, p.26).

Segundo Fontes (2009) a avaliação do estado funcional de um pavimento é realizada com base nas características físicas e geométricas da sua superfície, que por sua vez, deve apresentar perfil longitudinal e transversal em conformidade com o projeto, em que as principais exigências dizem respeito a homogeneidade global e rugosidade ótima. Gonçalves (1999) complementa que a avaliação funcional compreende a verificação de aspectos que possam afetar, de forma direta, os usuários da rodovia, como conforto ao rolamento, segurança e tempo de deslocamento.

3.8 AVALIAÇÃO OBJETIVA DA SUPERFÍCIE PELA DETERMINAÇÃO DO IGG

A norma DNIT 006/2003 – PRO é o documento que estabelece as exigências para avaliação objetiva da superfície de pavimentos rodoviários, que é realizada por meio da contagem e classificação de ocorrências e dimensões das deformações permanentes nas trilhas de roda. Especifica os acessórios necessários e determina o conceito de degradação de pavimentos mediante cálculos de frequências absolutas e relativas dos defeitos levantados e fixação do Índice de Gravidade Global (DNIT, 2003).

3.8.1 Índice de Gravidade Global – IGG

O Índice de Gravidade Global é um método de avaliação que permite classificar o estado geral de um determinado trecho de um pavimento, de acordo com a ocorrência de defeitos na superfície. Caracteriza-se como um indicador das condições do pavimento e contribui para definição das medidas de restauração necessárias (DNIT, 2006).

Na Tabela 1 são mostrados os conceitos para classificação das condições do pavimento em função do Índice de Gravidade Global.

Tabela 1: Condição do pavimento em função do IGG

Conceitos	Limites
Ótimo	$0 < IGG \leq 20$
Bom	$20 < IGG \leq 40$
Regular	$40 < IGGE \leq 80$
Ruim	$80 < IGGE \leq 160$
Péssimo	$IGGE > 160$

Fonte: Adaptado do DNIT (2003)

3.9 LEVANTAMENTO VISUAL CONTÍNUO - LVC

A avaliação de pavimentos flexíveis e semirrígidos através do processo de Levantamento Visual Contínuo – LVC tem por finalidade estabelecer a condição da superfície por meio da análise visual e contínua dos defeitos verificados do interior de um veículo em movimento uniforme (GOINFRA,2018).

A norma DNIT 008/2003 – PRO é o documento que fixa os procedimentos necessários para avaliação da superfície de pavimentos flexíveis e semirrígidos pelo método de Levantamento Visual Contínuo com base na determinação do Índice de Condição de Pavimentos Flexíveis ou semirrígidos - ICPF, do Índice de Gravidade Global Expedito - IGGE e do Índice do Estado de Superfície do Pavimento – IES (DNIT, 2003).

3.9.1 Condições gerais do levantamento

A norma estabelece que no LVC deve ser utilizado um veículo dotado de velocímetro e odômetro ajustados para aferição da velocidade de operação e da distância percorrida. Também recomenda que esse procedimento seja evitado em dias chuvosos ou com pouca luz natural. Para a realização do levantamento é necessária uma equipe constituída, de preferência, por no mínimo dois técnicos, além do motorista do veículo (DNIT, 2003).

Ainda conforme o DNIT (2003) o veículo deve ser operado a uma velocidade média aproximada de 40 km/h, sendo que, para cada tipo de rodovia devem ser seguidas as seguintes orientações:

- Em trechos de rodovias de pista simples o levantamento deverá ser realizado em um único sentido da via, sendo levada em consideração, simultaneamente, as duas ou mais faixas de tráfego;
- Em rodovias de pista simples o sentido do LVC é definido pelo Plano Nacional de Viação (PNV);
- Em trechos de rodovias de pista dupla o levantamento deverá ser realizado de maneira separada para cada uma das pistas, sendo levado em consideração, simultaneamente, as duas ou mais faixas de rolamento de cada uma das pistas.

A norma DNIT 008/2003 fixa que a divisão do trecho em segmentos deverá ser feita de maneira a obter uma extensão mínima de 1 km e máxima de 6 km, sendo indicado segmentos, preferencialmente, com 1 km de extensão. Segmentos maiores somente devem ser aplicados

quando houver segurança da homogeneidade dos defeitos ao longo de todo o seu comprimento (DNIT, 2003).

De acordo com o DNIT (2003) o processo de avaliação empregado no LVC compreende o preenchimento de formulário. Os defeitos visualizados ao longo de cada segmento devem ser indicados no formulário conforme à frequência em que acontecem, podendo esta ser considerada alta, média ou baixa. O registro é feito através de códigos conforme a estimativa da quantidade e da porcentagem de ocorrência do defeito, como disposto na Tabela 2.

Tabela 2: Frequência de defeitos

Panelas (P) e Remendos (R)		
Código	Frequência	Quant./km
A	Alta	≥ 5
M	Média	2 - 5
B	Baixa	≤ 2
Demais defeitos		
Código	Frequência	% por km
A	Alta	≥ 50
M	Média	50 - 10
B	Baixa	≤ 10

Fonte: Adaptado do DNIT (2003)

3.9.2 Cálculo do Índice da Condição do Pavimento Flexível - ICPF

Em concordância com o DNIT (2003) na avaliação visual do pavimento deve ser estimado, para cada quilômetro examinado, o índice da Condição do Pavimento Flexível (ICPF), que deve estar compreendido no intervalo de 0 a 5. Este indicador classifica a superfície do segmento e, ainda, aponta a intervenção a ser adotada para manutenção da rodovia, segundo os conceitos mostrados na Tabela 3. O ICPF é determinado através do cálculo da média dos índices contidos no formulário do levantamento (Anexo B da norma DNIT 008/2003 – PRO).

Tabela 3: Conceitos do ICPF

Conceito	Descrição	ICPF
Ótimo	NECESSITA APENAS DE CONSERVAÇÃO ROTINEIRA	5 – 4
Bom	APLICAÇÃO DE LAMA ASFÁLTICA – Desgaste superficial, trincas não muito severas em áreas não muito extensas	4 -3
Regular	CORREÇÃO DE PONTOS LOCALIZADOS OU RECAPEAMENTO – pavimento trincado, com “panelas” e remendos pouco frequentes e com irregularidade longitudinal ou transversal	3 – 2
Ruim	RECAPEAMENTO COM CORREÇÕES PRÉVIAS – defeitos generalizados com correções prévias em áreas localizadas - remendos superficiais ou profundos	2 – 1
Péssimo	RECONSTRUÇÃO – defeitos generalizados com correções prévias em toda a extensão. Degradação do revestimento e das demais camadas – infiltração de água e descompactação da base	1 – 0

Fonte: Adaptado do DNIT (2003)

3.9.3 Cálculo do Índice de Gravidade Global Expedito – IGGE

Segundo o DNIT (2003) o cálculo do Índice de Gravidade Global Expedito (IGGE) é feito a partir da média dos dados contidos no formulário do levantamento (Anexo C da norma DNIT 008/2003), utilizando a Eq.1:

$$IGGE = (P_t \times F_t) + (P_{oap} \times F_{oap}) + (P_{fr} \times F_{fr}) \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde:

- F_t, P_t = Frequência e Peso do conjunto de trincas t;
- F_{oap}, P_{oap} = Frequência e Peso do conjunto de deformações;
- F_{fr}, P_{fr} = Frequência (quantidade de km) e Peso do conjunto de panelas e remendos.

Para determinação do IGGE é conferido, para cada conjunto de defeito, um fator de frequência e um peso de cálculo que estão relacionados ao nível de gravidade do dano ocorrido na superfície do pavimento. Para panelas e remendos o fator de frequência é dado pela

quantidade de incidências. No que se refere aos demais defeitos, o fator de frequência é estimado conforme a porcentagem de ocorrência (DNIT, 2003).

Na Tabela 4 são fornecidos os fatores de frequência e na Tabela 5 os pesos para o cálculo do IGGE em função da gravidade.

Tabela 4: Fator de Frequência

Panelas (P) e Remendos (R)		
FREQUÊNCIA	Fator F_{pr} (Quant./km)	GRAVIDADE
A - ALTA	≥ 5	3
M - MÉDIA	2 - 5	2
B - BAIXA	≤ 2	1
Demais defeitos (trincas e deformações)		
FREQUÊNCIA	Fatores F_t e F_{oap} (%)	GRAVIDADE
A - ALTA	≥ 50	3
M - MÉDIA	50 - 10	2
B - BAIXA	≤ 10	1

Fonte: Adaptado do DNIT (2003)

Tabela 5: Pesos de Cálculo

GRAVIDADE	P_t	P_{oap}	P_{pr}
3	0,65	1,00	1,00
2	0,45	0,70	0,80
1	0,30	0,60	0,70

Fonte: Adaptado do DNIT (2003)

3.9.4 Cálculo do Índice do Estado da Superfície do Pavimento – IES

O Índice do Estado da Superfície do Pavimento (IES) é determinado em função do ICPF e IGGE, constituindo uma síntese destes dois índices. Os valores do IES atrelados ao código e conceito do estado da superfície do pavimento são definidos de acordo com a Tabela 6.

Tabela 6: Índice do Estado da Superfície do Pavimento

DESCRIÇÃO	IES	CÓDIGO	CONCEITO
$IGGE \leq 20$ e $ICPF > 3,5$	0	A	ÓTIMO
$IGGE \leq 20$ e $ICPF \leq 3,5$	1	B	BOM
$20 \leq IGGE \leq 40$ e $ICPF > 3,5$	2		
$20 \leq IGGE \leq 40$ e $ICPF \leq 3,5$	3	C	REGULAR
$40 \leq IGGE \leq 60$ e $ICPF > 2,5$	4		
$40 \leq IGGE \leq 60$ e $ICPF \leq 2,5$	5	D	RUIM
$60 \leq IGGE \leq 90$ e $ICPF > 2,5$	7		
$60 \leq IGGE \leq 90$ e $ICPF \leq 2,5$	8	E	PÉSSIMO
$IGGE > 90$	10		

Fonte: Adaptado do DNIT (2003)

3.10 VEÍCULOS AÉREOS NÃO TRIPULADOS – VANT's

A partir da necessidade do conhecimento a respeito da ocupação e utilização dos espaços, sejam naturais ou antropizados, surgiram, com o avanço tecnológico, diversas metodologias e equipamentos de coleta e processamento de dados que passaram a permitir a caracterização da superfície terrestre. Na atualidade, tem sido possível realizar o mapeamento de grandes áreas sem a mobilização de muitos profissionais, obter informações em locais de difícil acesso e reduzir o tempo das atividades. A exemplo, a fotogrametria tem sido uma técnica utilizada há alguns anos para produzir modelos de elevação através de sensores aerotransportados ou orbitais (LUCIER *et al.*, 2012).

Segundo Roberto (2013) a captura de fotografias aéreas consiste em um dos processos essenciais para obtenção de informações geográficas georreferenciadas que, por sua vez, contribuem para o desenvolvimento de diversos estudos. Esse processo pode ser realizado de maneira direta, por meio de levantamentos em campo com a utilização de Estação Total, aparelho GPS (Sistema de Posicionamento Global) ou ainda de maneira indireta com o uso de plataformas orbitais, aeronavais tripuladas e VANT.

3.10.1 Definição

A abreviação em Inglês UAV que significa *Unmanned Aerial Vehicle* ou *Unmanned Airborne Vehicle*, em português são denominados de VANT, Veículo Aéreo Não Tripulado (ROBERTO, 2013).

A terminologia UAV é normalmente utilizada na ciência da computação, robótica e inteligência artificial, como também na fotogrametria e sensoriamento remoto. Na literatura são encontrados outros termos que podem ser usados como sinônimos: Veículo Pilotado Remotamente (RPV), Aeronave Operada Remotamente (ROA), Aeronave Remotamente Pilotada (RPA) e Sistemas de Veículos Não Tripulados (UVS) (EISENBEISS, 2009).

Segundo o roteiro *Unmanned Aerial Aehicles Roadmap 2002-2027* fornecido pelo Departamento de Defesa dos EUA (DoD, 2003), os UAV são:

Um veículo aéreo motorizado que não transporta um operador humano, usa forças aerodinâmicas para fornecer sustentação ao veículo, podem voar de forma autônoma ou ser pilotada remotamente, pode ser dispensável ou recuperável e pode transportar uma carga letal ou não letal. Veículos balísticos ou semibalísticos, mísseis de cruzeiro e projéteis de artilharia não são considerados veículos aéreos não tripulados (DOD, 2003, p.2).

A Agência Nacional de Aviação Civil define os VANT's como,

Aeronave projetada para operar sem piloto a bordo que não seja utilizada para fins meramente recreativos. Nesta definição, incluem-se todos os aviões, helicópteros e dirigíveis controláveis nos três eixos, excluindo- se, portanto, os balões tradicionais e os aeromodelos (ANAC, 2012, p.3).

3.10.2 Classificação dos VANT's

Segundo o Regulamento Brasileiro da Aviação Civil Especial RBAC - E nº 94, desenvolvido pela ANAC (2017), as RPA's são classificadas de acordo com o peso máximo de decolagem, da seguinte forma:

- Classe 1: peso máximo de decolagem maior que 150 kg;
- Classe 2: peso máximo de decolagem maior que 25 kg e menor que 150 kg;
- Classe 3: peso máximo de decolagem menor ou igual a 25 kg.

3.10.3 Aplicação dos VANT's

A utilização de VANT's tem sido bastante potencializada no Brasil, bem como em outros países do mundo. Este mecanismo tecnológico, inicialmente aplicado em atividades militares, vem sendo empregado de maneira gradual em serviços da agricultura, arquitetura, silvicultura, arqueologia e construção civil (BALLESTEROS; LORDSLEEM JUNIOR, 2021).

Furtado *et al.* (2008) complementa que os VANT's constituem uma ferramenta que auxilia na otimização de processos voltados para a agricultura, vigilância e monitoramento de recursos. Destaca que as imagens aéreas capturadas por esse tipo de veículo contribuem, no trabalho agrícola, para identificação de irregularidades nas plantações, controle de pragas e pulverização e, ainda, tem sido ferramenta de uso de algumas empresas para gerenciamento de recursos distribuídos em áreas extensas e de difícil acesso por via terrestre. Segundo Branco (2016) as ARP's podem ser empregadas, também, para fotografia aérea, filmagem, busca e salvamento, monitoramento ambiental e recreação.

Ainda que a construção civil demonstre certa resistência no que se refere a modificação e aperfeiçoamento de seus métodos tradicionais, nos últimos anos, os VANT's têm conquistado espaço nesse setor e oferecido benefícios relacionados à rapidez, segurança e redução de custos. Através dessa tecnologia é possível realizar mapeamento e modelagem de áreas em 2D e 3D, verificar a qualidade dos serviços executados em obra, conferir medições de campo, obter curvas de nível e nuvens de pontos, dentre outras ações (VILAR, 2019).

Em estudo sobre as aplicações de ARP's nas diversas áreas de atuação da engenharia civil, Kang *et al.* (2014) destacou que, no setor da infraestrutura rodoviária, os RPA's são utilizados no gerenciamento e vigilância de tráfego, avaliação das condições de pavimento e situações de emergência.

3.10.4 Requisitos gerais para operação de RPA Classe 3

A ANAC (2017) através do Regulamento Brasileiro da Aviação Civil Especial (RBAC - E nº 94) descreve os requisitos gerais para operação de aeronaves não tripuladas de uso civil. Para os RPA's de Classe 3, são estabelecidas as seguintes exigências:

- Todos os Pilotos remotos e observadores de RPA devem ser maiores de 18 anos;

- A operação de aeronaves não tripuladas até 250 gramas de peso máximo de decolagem é permitida pela ANAC, sob total responsabilidade do seu operador, desde que sejam cumpridas às exigências do Regulamento Especial;
- Todos os pilotos remotos que realizarem operações acima de 400 pés (aproximadamente 121 m) em relação ao nível do solo, ou que utilizarem de RPAs Classe 1 ou 2, devem possuir licença e habilitação emitida ou validada pela ANAC. Dessa forma, pilotos remotos que operem RPAs Classe 3 ficam isentos dessa documentação;
- O piloto remoto deve estar presente durante todas as fases do voo, sendo, ainda, permitida a troca do piloto em comando no momento da operação;
- Um piloto remoto somente pode operar um RPA por vez;
- Somente é permitida a operação em Aeronave Não Tripulada que apresente condições aeronavegáveis;
- O piloto remoto em comando é responsável por verificar as condições de segurança do voo. Em casos de problemas mecânicos, elétricos ou estruturais que comprometam a segurança da operação, o piloto deverá abortar o voo, assim que possível;
- A operação somente poderá ser iniciada se existir conhecimento acerca do vento e demais condições meteorológicas e, houver autonomia suficiente para realizar o voo e pousar em segurança no local previsto;
- É desautorizado operar uma aeronave não tripulada de maneira descuidada ou negligente, levando risco à vida ou propriedades de terceiros;
- É proibido o transporte de pessoas, animais, artigos perigosos referidos no RBAC nº 175 ou carga proibida por autoridade competente;
- É proibida a operação autônoma de aeronaves não tripuladas.

4. METODOLOGIA

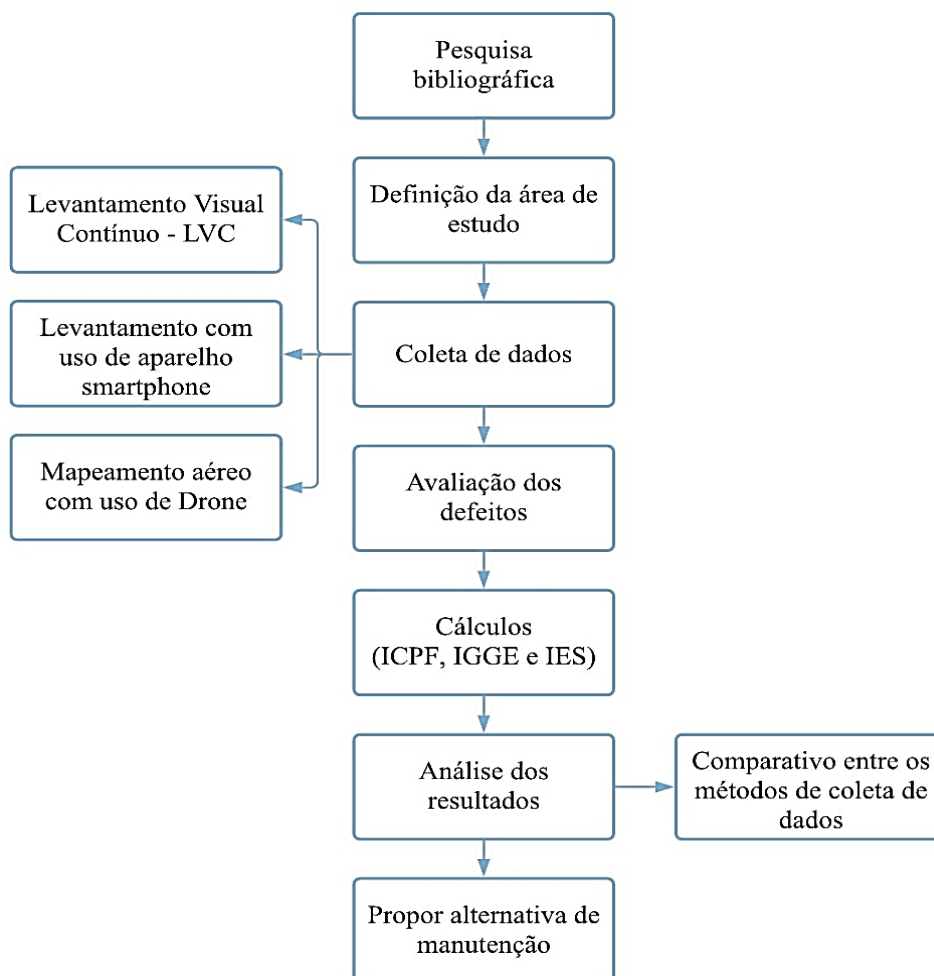
Para inspeção de defeitos no trecho escolhido foram aplicadas três metodologias de coleta de dados, sendo elas:

- (i) Levantamento Visual Contínuo (LVC);
- (ii) Mapeamento aéreo com uso de drone;
- (iii) Levantamento através do uso de aparelho *smartphone*.

No entanto, para a determinação do estado da superfície do pavimento seguiu-se os procedimentos de cálculo do método LVC, fixado pela norma DNIT 008/2003. Com base nos resultados será realizada análise comparativa dos métodos empregados na pesquisa.

Na Figura 11 é ilustrada uma representação esquemática com as etapas do estudo.

Figura 11: Representação esquemática com etapas do estudo



Fonte: Autoria própria (2021)

4.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A avaliação da superfície foi realizada na rodovia RN-233 localizada no estado do Rio Grande do Norte (RN) no trecho que liga os municípios de Caraúbas e Apodi. Este trecho, compreende uma extensão de 38,7 km de pista simples com largura de aproximadamente 6,65 m de pavimento asfáltico, no entanto, foi avaliado um segmento de 1 km por questões práticas, sem prejuízo para atingir os objetivos do estudo.

A escolha da área de estudo decorreu da incidência de defeitos na via, que por sua vez, são facilmente percebidos. Na Figura 12 é apresentado o trecho que corresponde a extensão total entre os municípios de Caraúbas e Apodi.

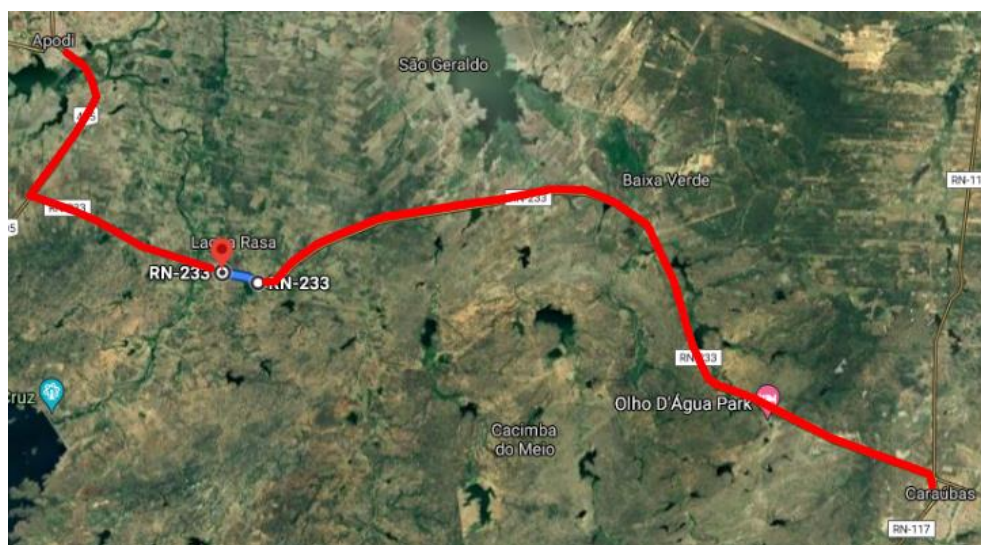
Figura 12: Trecho da rodovia que liga os municípios de Caraúbas e Apodi



Fonte: Google Maps (2021)

Na Figura 13 é apresentada a delimitação precisa do trecho avaliado (destacado na cor azul). O segmento submetido a análise se encontra a aproximadamente 25 km da cidade de Caraúbas.

Figura 13: Delimitação do trecho avaliado



Fonte: Google Maps (2021)

4.2 COLETA DE DADOS

4.2.1 Levantamento Visual Contínuo - LVC

Para aplicar o método do LVC, uma equipe constituída por 3 colaboradores foi selecionada, com conhecimento prévio da norma DNIT 008/2003 e dos procedimentos necessários para realizar esse levantamento, incluindo o condutor do veículo.

A avaliação do trecho da rodovia foi realizada com a operação de um veículo automotor, S10 executive 4x4, a uma velocidade média aproximada de 40 km/h. Por se tratar de uma rodovia de pista simples com duas faixas de tráfego, o veículo percorreu a extensão de 1 km em um único sentido da via, sendo consideradas no levantamento as duas faixas de rolamento, simultaneamente, conforme orientações da norma.

Ao decorrer do percurso, os tipos de defeitos observados visualmente pelo corpo técnico, presente no interior do veículo, foram fichados manualmente por meio do preenchimento de formulário, com as indicações mostradas na Figura 14. É importante destacar que todos os avaliadores estavam dispostos em posição que permitia visualizar com detalhes a superfície do pavimento.

Figura 14: Formulário para anotação dos defeitos

MT																Folha				
DNIT																de				
Código PNV Trecho do PNV	Ext. PNV _____ Ext. EXEC _____ UNIT _____ Nº PISTALADO _____ MÊS/ANO _____																			
	Largura da Pista: _____																			
	Largura do Acostamento: _____																			
	Início _____ MR Nº _____										Fim _____ VMD _____ MR Nº _____									
SEGMENTO			FREQÜÊNCIA DE DEFEITOS (A, M, B, ou S)										I		INF.COMPLEMENTARES		OBSERVAÇÕES			
Nº DO SEG	ODÔMETRO/KM		Ext	P	TRINCAS			R	DEFOR- MAÇÕES		OUTROS DEFEITOS			P	REV			ESP	IDADE	
	INÍCIO	FIM			TR	TJ	TB		AF	O	D	EX	E		F	ORIG		REST		

Fonte: DNIT (2003)

4.2.2 Levantamento de defeitos com uso de aparelho *smartphone*

Enquanto o veículo trafegava pelo segmento definido da RN-233 para coleta de dados através do método LVC, foram feitos registros da rodovia por meio da gravação de vídeos com o uso de aparelho *smartphone* da marca *Xiaomi Redmi Note 8*, 128 GB e resolução de câmera de 48 megapixels. Para tanto, o equipamento foi manuseado por um avaliador posicionado no banco do passageiro, de maneira que fosse possível uma maior visibilidade da via. A câmera ficou situada a 2,5 m em relação a superfície da rodovia.

Após a inspeção em campo, os registros foram visualizados para conferência de defeitos que, em seguida, foram inventariados também no formulário fornecido pela norma DNIT 008/2003.

As imagens foram adotadas com o intuito de testar uma nova metodologia para análise de defeitos em pavimentos, de maneira distinta ao procedimento de coleta de dados através do método LVC. Contudo, para calcular o estado da superfície do pavimento foram utilizados os mesmos parâmetros da norma DNIT 008/2003.

4.2.3 Mapeamento de defeitos asfálticos com uso de drone

Para o mapeamento de defeitos através da fotogrametria aérea - técnica que permite a obtenção de medidas e posicionamentos de objetos no espaço a partir de imagens digitais - foi

utilizado um drone do modelo DJI Mavic Mini 1 Fly More Combo. O veículo possui peso de 249 g e tempo de autonomia de 30 min. Dispõe de câmera fotográfica com resolução de 12 megapixels e alcance de transmissão de vídeo de até 4 km.

Na Figura 15 é apresentado o drone utilizado para a captura de imagens.

Figura 15: Drone DJI Mavic Mini

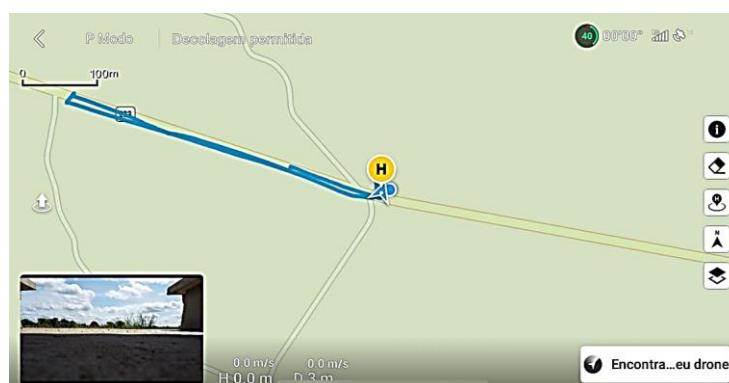


Fonte: Autoria própria (2021)

Para decolagem do drone não foi elaborado um plano de voo. A aeronave foi controlada por um piloto e com auxílio do aplicativo DJI Fly, compatível apenas para o Mavic Mini, que possui interface ampla para visualização em tempo real e acompanhamento da rota percorrida, conforme a Figura 16.

A aeronave realizou o mapeamento do trecho em tempo aproximado de 20 min, a uma altitude média de 25 m. A velocidade de voo apresentou algumas variações em razão da interferência de correntes de ar e, portanto, oscilando entre 4 a 5 m/s. Durante o voo foram capturadas um total de 175 imagens para posterior análise e identificação dos defeitos presentes na superfície do pavimento.

Figura 16: Aplicativo DJI Fly



Fonte: Autoria própria (2021)

Depois da realização do mapeamento aéreo, as imagens capturadas foram armazenadas no computador. Posteriormente, foi realizada a análise dos registros fotográficos para identificação dos defeitos presentes no trecho da rodovia. Os defeitos levantados foram listados no formulário disponibilizado pela norma DNIT 008/2003.

Algumas imagens foram direcionadas para o *Software CorelDRAW*, destinado a criação de designers gráficos. Nessa ferramenta foram indicados no trecho os pontos de localização de um determinado número de defeitos e verificadas as dimensões dessas ocorrências. Todas as medidas foram trabalhadas a partir de um fator de escala obtido com base na largura real da rodovia.

4.3 CÁLCULOS PARA AVALIAÇÃO DO PAVIMENTO

Finalizada a coleta dos dados em campo foram efetuados os cálculos para obtenção do Índice de Condição dos Pavimentos Flexíveis (ICPF), Índice de Gravidade Global Expedito (IGGE) e Índice do Estado da Superfície do pavimento (IES), que são indicadores que permitem a determinação de um conceito de qualidade da superfície do pavimento.

Cabe ressaltar que o cálculo desses índices é uma peculiaridade do método LVC. No entanto, o mesmo procedimento de cálculo foi aplicado para os defeitos levantados na inspeção realizada com o uso de aparelho *smartphone* e no mapeamento aéreo com uso do drone.

4.3.1 Cálculo do Índice de Condição dos Pavimentos Flexíveis e semi-rígidos – ICPF

Para inspeção de trechos com extensão superior a 1 km, o valor do ICPF é obtido através da média dos índices constados no formulário do LVC. Para o presente estudo, o levantamento foi realizado em um trecho com extensão de 1 km, isto é, apenas um segmento. Portanto, para cada método de avaliação considerado foi estimado um único valor de ICPF, sendo dispensado o cálculo da média dos índices. Na sequência, o ICPF estimado foi associado ao seu conceito correspondente, conforme a Tabela 3 disposta no item 3.9.2.

4.3.2 Cálculo do Índice de Gravidade Global Expedito – IGGE

Para definição dos IGGE's foram verificadas as ocorrências listadas nos formulários de cada levantamento e, em seguida, para cada conjunto de defeito foi atribuído um fator de frequência e um peso de cálculo em função da gravidade. Todos os fatores de frequência foram

estabelecidos de maneira subjetiva pelos avaliadores. Após a verificação dos fatores de frequência e os pesos de cálculos (Tabelas 4 e 5), estes valores foram inseridos na (Eq.1) para o cálculo do IGGE, de acordo com o item 3.9.3.

4.3.3 Cálculo do Índice do Estado da Superfície do pavimento - IES

Depois de conhecidos os ICPF's e os IGGE's foram determinados os IES's. O valor de IES juntamente com o código e o conceito do estado da superfície do pavimento analisado foi estabelecido como base nas condições dispostas na Tabela 6 (item 3.9.4).

Após a finalização de todos os cálculos foi realizada uma análise comparativa entre o valor de IES obtido em cada método, de modo a certificar-se da compatibilidade dos resultados.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção serão apresentados os resultados da pesquisa obtidos a partir da análise dos dados levantados em campo. Estes foram organizados em tabelas, quadros e gráficos para melhor compreensão e quantificação dos defeitos observados.

5.1 ANÁLISE DOS DADOS OBTIDOS COM O MÉTODO LVC

Na Figura 17 é apresentado o formulário com os tipos de defeitos observados no trecho avaliado da rodovia RN-223 através do método LVC e a frequência em que ocorrem.

Figura 17: Defeitos observados através do Método LVC

MT															Folha			
DNIT															de			
Código PNV RN - 233 Trecho do PNV	Ext. PNV <u>154 km</u> Ext. EXEC <u>1 km</u> UNIT _____ Nº PISTA/LADO <u>1</u> MÊS/ANO <u>05/2021</u>																	
	Largura da Pista: <u>6,65 m</u>																	
	Largura do Acostamento: _____																	
	Início _____ MR Nº _____ Fim _____ VMD _____ MR Nº _____																	
SEGMENTO			FREQÜÊNCIA DE DEFEITOS (A, M, B, ou S)										I		INF.COMPLEMENTARES		OBSERVAÇÕES	
Nº DO SEG	ODÔMETRO/KM		Ext	P	TRINCAS			R	DEFOR- MAÇÕES		OUTROS DEFEITOS			C				
	INÍCIO	FIM			TR	TJ	TB		AF	O	D	EX	E		REV	ESP		IDADE
																ORIG		REST
1	183.700	183.701	1 km	A	M	B		A	B		M			3		5 cm		

Fonte: Autoria própria (2021)

Conforme os dados coletados é visto que o segmento avaliado tem a sua serventia comprometida pela incidência de defeitos do tipo panela e remendo, que ocorrem em frequência alta (código A); trinca isolada e desgaste em frequência média (código M); trinca interligada “couro de jacaré” e afundamentos em frequência baixa (código B). Estes defeitos foram registrados no formulário conforme a estimativa de quantidade e porcentagem de ocorrência. Percebe-se que demais defeitos como trinca tipo “bloco”, ondulações, exsudação e escorregamento não foram evidenciados.

Na Tabela 7 é mostrado o número de ocorrência de cada defeito observado pelo método LVC, que serviu como base para determinação das frequências indicadas na Figura 17. As

trincas isoladas e desgastes são defeitos que ocorrem no pavimento com frequência média, mostrando-se contínuos em alguns pontos do trecho e, por consequência, tornando difícil a quantificação na inspeção visual com o veículo a 40 km/h. Apesar disso, foram contabilizadas as trincas isoladas de maior extensão e possíveis de visualizar do interior do veículo. Já os desgastes não foram quantificados.

Tabela 7: Número de ocorrência por tipo de defeito – LVC

Tipo de defeito	Número de ocorrência	Frequência
Panela	35	A
Trinca isolada	12	M
Trinca " <i>couro de jacaré</i> "	8	B
Remendo	9	A
Afundamento	5	B
Total	69	-

Fonte: Autoria própria (2021)

Como verificado na Tabela 7, foi possível identificar um total de 69 ocorrências. Em razão da gravidade em que acontecem, foi detectado um número de 35 painéis, sendo este um defeito visualizado facilmente ao longo do segmento. Sequencialmente, foram contabilizadas 12 trincas isoladas, 9 remendos, também bastante evidentes, 8 trincas do tipo "*couro de jacaré*"; e com menor frequência os afundamentos, que foram percebidos 5 vezes, valor relativamente baixo. A norma DNIT 008/2003 destaca que, para painéis e remendos, a partir de uma quantidade igual ou superior a 5 a frequência é considerada alta (Tabela 2). Neste caso, o número de painéis se apresenta bem elevado, principalmente se comparado aos outros tipos de defeitos.

A partir dos dados contidos no formulário foi atribuído ao trecho um ICPF equivalente a 3, correspondente a um conceito de pavimento regular, de acordo com a Tabela 3 deste trabalho. O índice estimado diz respeito a condição do pavimento do ponto de vista do avaliador. Em conformidade com a norma DNIT 008/2003, a atividade de manutenção recomendada é a correção de pontos localizados ou recapeamento.

Conhecido o valor de ICPF, foi dada sequência com a determinação do IGGE. Para isso, atentou-se aos parâmetros mostrados no item 3.9.3 (Tabelas 4 e 5). Na Tabela 8 estão dispostos todos os fatores e pesos atribuídos para cada conjunto de defeitos e o valor de IGGE calculado.

Tabela 8: Fatores e pesos considerados no cálculo do IGGE – método LVC

Conjunto de trincas			
Gravidade	P_t	F_t (%)	$P_t \times F_t$
2	0,45	40	18
Conjunto de deformações			
Gravidade	P_{oap}	F_{oap} (%)	$P_{oap} \times F_{oap}$
1	0,60	7	4,2
Conjunto de placas e remendos			
Gravidade	P_{pr}	F_{pr} (Quant./km)	$P_{pr} \times F_{pr}$
3	1,00	44	44
$IGGE = (P_t \times F_t) + (P_{oap} \times F_{oap}) + (P_{pr} \times F_{fr}) = 66,2$			

Fonte: Autoria própria (2021)

Com base no ICPF e IGGE calculados, foi determinado o valor de IES. Atendendo às condições mostradas no item 3.9.4 (Tabela 6) foi encontrado para o método LVC um IES igual a 7 ($60 \leq IGGE \leq 90$ e $ICPF > 2,5$). Dessa forma, o pavimento do trecho submetido a análise apresentou um conceito ruim.

O levantamento visual consiste em um método rápido e prático para inspeção de pavimentos, acelerando o processo de coleta de dados. Além disso, demanda um número reduzido de avaliadores, sendo também, uma alternativa que minimiza o trabalho em campo.

Por outro lado, a avaliação se torna limitada por não ser possível verificar com exatidão a quantidade e dimensão de cada tipo de defeito, principalmente, em extensões muito deterioradas. As informações levantadas estão diretamente relacionadas com a percepção e experiência dos técnicos responsáveis pela análise, e, portanto, podem variar de acordo com o ponto de vista do avaliador. Cabe ressaltar também, que o método LVC não leva em consideração o tamanho do defeito, e sim, a frequência em que este ocorre.

5.2 ANÁLISE DOS DADOS LEVANTADOS COM O SMARTPHONE

Na Figura 18 estão dispostos os defeitos identificados no trecho a partir da gravação de vídeo com o uso de aparelho *smartphone*.

Figura 18: Defeitos identificados a partir da gravação de vídeo

MT																Folha	
DNIT																de	
Código PNV RN - 233 Trecho do PNV	Ext. PNV <u>154 km</u> Ext. EXEC <u>1 km</u> UNIT _____ Nº PISTA/LADO <u>1</u> MÊS/ANO <u>05/2021</u>																
	Largura da Pista: <u>6,65 m</u>																
	Largura do Acostamento: _____																
	Início _____ MR Nº _____																
	Fim _____ VMD _____ MR Nº _____																
SEGMENTO			FREQÜÊNCIA DE DEFEITOS (A, M, B, ou S)										I		INF.COMPLEMENTARES		OBSERVAÇÕES
Nº	ODÔMETRO/KM		Ext	P	TRINCAS			R	DEFOR- MAÇÕES		OUTROS DEFEITOS			C			
DO					TR	TJ	TB		AF	O	D	EX	E		P		
SEG	INÍCIO	FIM												REV	ESP	IDADE	
																ORIG	REST
1	183.700	183.701	1 km	A	B	B		A	B		B			3	5 cm		

Fonte: Autoria própria (2021)

Ao analisar a Figura 18 percebe-se que por meio da gravação de vídeo foram observados os mesmos defeitos catalogados na coleta de dados pelo método LVC. Contudo, houve discrepância na frequência de trincas isoladas e desgaste, que na inspeção com uso de *smartphone* foi baixa, enquanto que no visual contínuo apresentou frequência média. Painelas e remendos continuam sendo os problemas mais recorrentes no trecho analisado.

Na Tabela 9 estão listados os defeitos verificados no levantamento com *smartphone* e suas respectivas quantidades, com exceção de desgastes, que aparecem de forma generalizada ao longo do pavimento, impossibilitando a contagem.

Tabela 9: Número de ocorrência por tipo de defeito – *smartphone*

Tipo de Defeito	Número de ocorrência	Frequência
Panela	45	A
Trinca isolada	5	B
Trinca "couro de jacaré"	3	B
Remendo	10	A
Afundamento	3	B
Total	66	-

Fonte: Autoria própria (2021)

Através dos dados tabelados pode-se notar que por meio da gravação de vídeo foram observados um total de 66 defeitos. O número de remendos, trincas isoladas, trinca “*couro de jacaré*” e afundamento se mostram bem inferior a quantidade de painéis, que foi 45. A qualidade das informações coletadas foi prejudicada pela resolução do vídeo, o qual não ofereceu transparência suficiente para verificação minuciosa dos defeitos presentes na superfície da rodovia.

Fundamentando-se nos defeitos inventariados no formulário e, considerando toda a extensão avaliada, foi conferido ao pavimento um conceito regular, com um ICPF igual a 3. Dando seguimento aos cálculos para classificação do estado geral da superfície do pavimento, foi determinado o IGGE com base nos fatores e pesos indicados na Tabela 10.

Tabela 10: Fatores e pesos considerados no cálculo do IGGE - *smartphone*

Conjunto de trincas			
Gravidade	P_t	F_t (%)	$P_t \times F_t$
1	0,30	10	3
Conjunto de deformações			
Gravidade	P_{oap}	F_{oap} (%)	$P_{oap} \times F_{oap}$
1	0,60	4	2,4
Conjunto de painéis e remendos			
Gravidade	P_{pr}	F_{pr} (Quant./km)	$P_{pr} \times F_{pr}$
3	1,00	55	55
$IGGE = (P_t \times F_t) + (P_{oap} \times F_{oap}) + (P_{pr} \times F_{fr}) = 60,4$			

Fonte: Autoria própria (2021)

Como observado na Tabela 10, foi obtido um IGGE de 60,4. Realizando uma síntese entre o ICPF e IGGE calculado ($60 \leq IGGE \leq 90$ e $ICPF > 2,5$) foi encontrado um IES de 7. Portanto, com base neste índice, a superfície do pavimento apresentou um conceito ruim.

Na Figura 19 é ilustrada a ocorrência do tipo painel observada por meio da gravação de vídeo. As imagens foram obtidas através da captura de tela.

Figura 19: Painelas



Fonte: Autoria própria (2021)

Observando a Figura 19, é possível certificar-se da frequência e gravidade em que o defeito painela ocorre, estando presente em uma extensão considerável do trecho total. Também é visível o desgaste da camada de revestimento, ficando aparente o material granular utilizado na camada de base do pavimento.

Na Figura 20 são expostas algumas das trincas identificadas no pavimento, sendo elas isoladas e do tipo “*couro de jacaré*”. As trincas isoladas estão presentes em toda a via, sendo, portanto, um defeito generalizado. Porém, por não apresentarem um alto nível de severidade, sua identificação é mais complicada que a dos demais problemas.

Figura 20: (a) Trincas isoladas; (b) “*Couro de jacaré*”



(a)

(b)

Fonte: Autoria própria (2021)

Outro defeito que pôde ser visto com facilidade foi o remendo, presente em locais pontuais do pavimento, como mostrado na Figura 21.

Figura 21: Remendos

Fonte: Autoria própria (2021)

De modo geral, o levantamento de defeitos através da gravação de vídeo não se mostrou uma alternativa eficiente. Devido à falta de qualidade da imagem, essa metodologia apresentou limitações para identificação de deformações e conjunto de trincas. Uma vantagem oferecida por essa ferramenta é a possibilidade de revisar o trecho através do vídeo para melhor reconhecimento dos defeitos.

5.3 ANÁLISE DOS DADOS LEVANTADOS COM O DRONE

Na Figura 22 estão listados os tipos de defeitos observados no trecho avaliado através do mapeamento com o uso de aeronave remotamente pilotada.

Figura 22: Defeitos observados através do mapeamento com o uso do Drone

MT														Folha				
DNIT														de				
Código PNV RN - 233 Trecho do PNV		Ext. PNV <u>154 km</u> Ext. EXEC <u>1 km</u> UNIT _____ Nº PISTA/LADO <u>1</u> MÊS/ANO <u>05/2021</u> Largura da Pista: <u>6,65 m</u> Largura do Acostamento: _____ Início _____ MR Nº _____ Fim _____ VMD _____ MR Nº _____																
		SEGMENTO		FREQÜÊNCIA DE DEFEITOS (A, M, B, ou S)										I		OBSERVAÇÕES		
		Nº DO SEG	ODÔMETRO/KM		Ext	P	TRINCAS			R	DEFOR- MAÇÕES		OUTROS DEFEITOS		C		INF.COMPLEMENTARES	
			INÍCIO	FIM			TR	TJ	TB		AF	O	D	EX			E	REV
1	183.700	183.701	1 km	A	M	M		A	B		A			3	5 cm			

Fonte: Autoria própria (2021)

A partir da análise dos formulários, percebe-se que os defeitos identificados ao longo do segmento foram iguais em todas as metodologias de coleta de dados aplicadas neste estudo. No entanto, com as imagens capturadas pelo drone foi possível observar os defeitos com maior detalhe. Por exemplo, a trinca “*couro de jacaré*” foi registrada na folha de levantamento com frequência média, enquanto que nos demais métodos utilizados apresentou frequência baixa.

Na Tabela 11 estão listados os defeitos catalogados no levantamento com uso do drone e número de ocorrências. Para defeitos do tipo desgaste não foi estimada uma quantidade, tendo em vista que este problema aparece de maneira generalizada ao longo de uma extensão considerável do pavimento, sendo difícil realizar a contagem.

Tabela 11: Número de ocorrência por tipo de defeito – drone

Tipo de Defeito	Número de ocorrência	Frequência
Panela	50	A
Trinca isolada	24	M
Trinca " <i>couro de jacaré</i> "	23	M
Remendo	10	A
Afundamento	8	B
Total	115	-

Fonte: Autoria própria (2021)

Com base nos números exibidos na Tabela 11, verifica-se que através do mapeamento com uso do drone foram registrados um total de 115 ocorrências, sendo as painelas o defeito predominante no trecho, com um número de 50 ocorrências. Neste método de coleta de dados, defeitos como trincas isoladas, “*couro de jacaré*”, remendos e afundamentos foram observados em quantidades superiores, quando comparados aos números obtidos nos demais procedimentos de coleta.

De acordo com as informações compreendidas no formulário de levantamento, foi atribuído ao trecho de rodovia avaliado um ICPF equivalente a 3, correspondendo a um conceito regular. Mediante o número de ocorrências, para cada conjunto de defeitos foi estimado um fator de frequência, associado aos seus respectivos pesos de cálculo, conforme expõe a Tabela 12.

Tabela 12: Fatores e pesos considerados no cálculo do IGGE - drone

Conjunto de trincas			
Gravidade	P_t	F_t (%)	$P_t \times F_t$
3	0,65	60	39
Conjunto de deformações			
Gravidade	P_{oap}	F_{oap} (%)	$P_{oap} \times F_{oap}$
2	0,70	12	8,4
Conjunto de placas e remendos			
Gravidade	P_{pr}	F_{pr} (Quant./km)	$P_{pr} \times F_{pr}$
3	1,00	60	60
$IGGE = (P_t \times F_t) + (P_{oap} \times F_{oap}) + (P_{pr} \times F_{pr}) = 107,4$			

Fonte: Autoria própria (2021)

Com base no IGGE calculado, que se enquadra na condição $IGGE > 90$, foi encontrado um IES igual a 10, conforme o item 3.9.4 (Tabela 6). Desse modo, o estado da superfície do pavimento foi conceituado como péssimo.

Na Figura 23 é apresentado o segmento do trecho com maior nível de degradação, que compreende grande parte dos defeitos inventariados nos formulários. Esse segmento, por sua vez, possui comprimento aproximado de 300 m, o que corresponde a 30% do total avaliado.

Figura 23: Indicação de defeitos no trecho

Fonte: Autoria própria (2021)

No Quadro 1 é mostrado uma ampliação dos defeitos demarcados na Figura 23 para melhor visualização, com suas respectivas dimensões.

Quadro 1: Detalhe e dimensões dos defeitos

Defeito	Dimensões	Imagem
Panela	Comprimento: 3,20 m Largura: 2,62 m	
Trinca “couro de jacaré”	Comprimento: 10 m Largura: 1,20 m	
Desgaste	Esse defeito se mostra constante ao longo de uma extensão considerável do trecho. No entanto, apresentou maior incidência em um comprimento de aproximadamente 80 m	
Remendo	Comprimento: 14,94 m Largura: 2,15 m	

Fonte: Autoria própria (2021)

De acordo com os resultados da pesquisa percebe-se que o drone pôde proporcionar, através de imagens digitais de alta resolução, a obtenção de um maior número de defeitos existentes na rodovia. Além de oferecer precisão nas informações levantadas, essa ferramenta tecnológica permite a otimização do tempo de execução das atividades em campo, reduz os custos com equipe especializada e, ainda, oportuniza a visualização repetida dos registros para maior riqueza de detalhes.

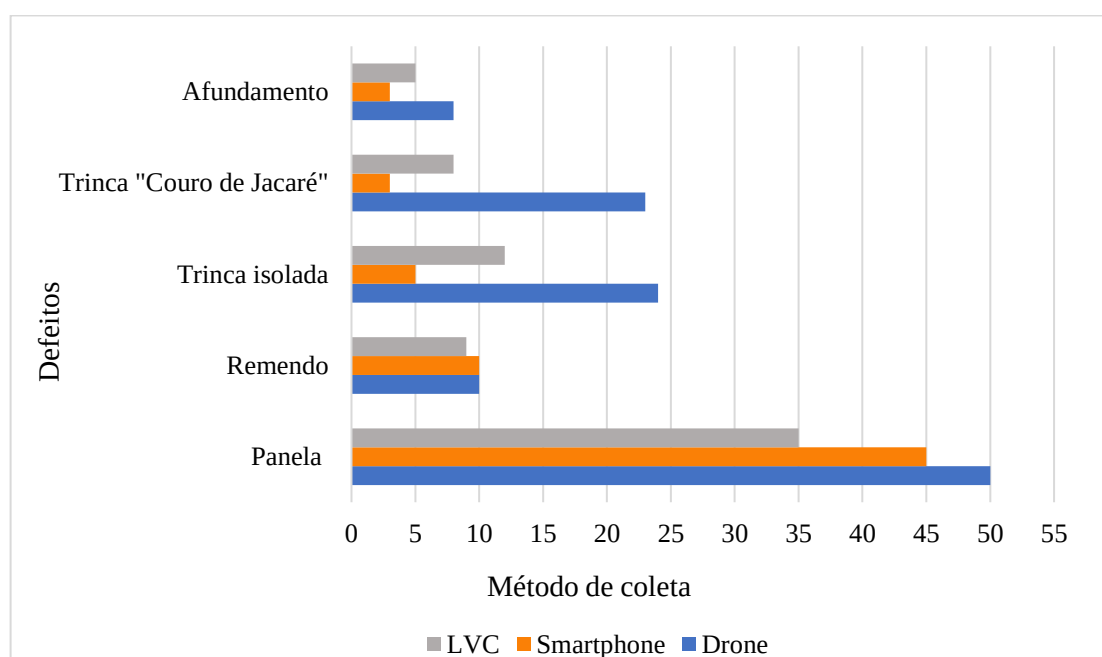
A proposta de utilização do drone também apresenta como vantagem a capacidade de realizar levantamentos sem a interferência do tráfego de veículos. Os dados auferidos também podem ser utilizados para gerência e acompanhamento da condição de um pavimento durante sua vida útil.

Houve uma certa dificuldade para aferição de trincas isoladas de baixa severidade devido à altura de voo da aeronave. Para melhores resultados é recomendado o mapeamento aéreo com a menor altitude possível, de maneira que seja alcançada qualidade de imagens ainda melhor, proporcionando, assim, a visualização de defeitos com menores dimensões.

5.4 COMPARATIVO ENTRE OS MÉTODOS DE COLETA DE DADOS

Para melhor análise e comparativo dos dados, no Gráfico 1 estão apresentados o número de defeitos levantados em cada método de coleta.

Gráfico 1: Número de defeitos por método de coleta



Fonte: Autoria própria (2021)

Com a análise do Gráfico 1 pode-se perceber que o drone foi a ferramenta de coleta de dados que possibilitou maior apuração de defeitos. Todas as ocorrências foram inventariadas em uma quantidade superior, com exceção dos remendos que também foram percebidos 10 vezes na inspeção com a utilização do *smartphone*.

O aparelho *smartphone*, embora possibilitando a identificação de defeitos com maior extensão e/ou gravidade, como panelas e remendos, tem se mostrado uma alternativa falha para verificação de trincas e afundamentos, demonstrando inferioridade em relação aos demais métodos.

No que se refere ao método LVC, normatizado pelo DNIT, também foi possível constatar maior quantidade de panelas e remendos, defeitos que puderam ser visualizados facilmente na superfície da rodovia. Quando comparado ao *smartphone*, proporcionou melhor visualização de trincas isoladas, seguidas das trincas “*couro de Jacaré*” e afundamentos. Já em relação às panelas e remendos, se mostrou menos eficiente.

Em estudo desenvolvido no município de São Carlos - SP utilizando o método LVC, Zanchetta (2005) ressaltou a dificuldade de observar do interior de um veículo defeitos como desgaste e trincas por fadiga de baixa severidade, sendo uma questão que poderia comprometer a qualidade dos dados levantados. Destacou ainda, que o método de caminhamento, também normatizado pelo DNIT, possibilita a obtenção de dados mais precisos, porém, demanda maior tempo de avaliação.

Em uma análise de pavimento realizada na Avenida João Naves de Ávila da cidade de Uberlândia, utilizando o drone e avaliação objetiva da norma DNIT 006/2003 para aquisição de informações, Souza (2020) comparou a quantidade de defeitos encontrados por meio dos dois métodos e percebeu que apenas 24,40% dos defeitos encontrados na via por caminhamento (IGG), foram visíveis nas imagens capturadas com a aeronave. O autor salientou que a baixa porcentagem pode ser justificada pela presença de árvores sobre a rodovia, altura de voo e tamanho de alguns defeitos, que por sua vez, não puderam ser identificados mesmo sendo realizada a ampliação da imagem (zoom).

Também foi realizado comparativo entre os Índices do Estado da Superfície do pavimento (IES). Os valores obtidos em cada método de coleta estão dispostos na Tabela 13.

Tabela 13: IES obtido em cada método de levantamento de dados

Método	ICPF	IGGE	IES	Conceito
LVC	3	66,2	7	Ruim
<i>Smartphone</i>	3	60,4	7	Ruim
Drone	3	107,4	10	Péssimo

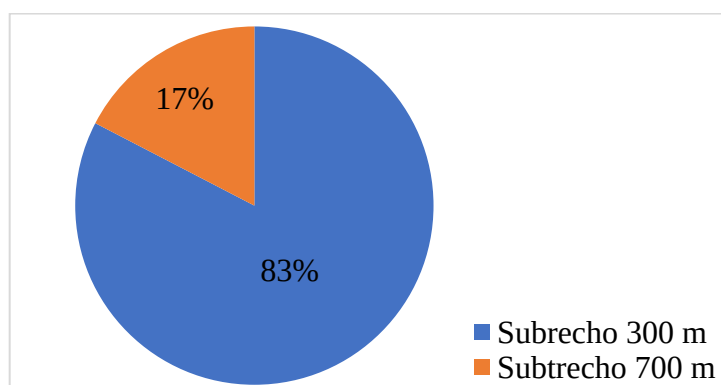
Fonte: Autoria própria (2021)

Como observado, para os três métodos de coleta de dados foi conferido ao pavimento um ICPF igual a 3, que corresponde a um conceito regular, inicialmente atribuído pelos técnicos avaliadores. Os valores de IGGE se mostraram diferentes em razão dos fatores e pesos de cálculos, que variaram de acordo com a quantidade e gravidade dos defeitos levantados em cada método. Quanto ao IES, indicador que aponta o estado geral da superfície do pavimento, para o LVC e aparelho *smartphone* foi encontrado valor igual a 7, classificando a superfície do pavimento como ruim, enquanto que, através do drone foi obtido um índice máximo de 10, conceituando a superfície do pavimento como péssimo.

5.5 ANÁLISE DO TRECHO POR SEGMENTOS

Considerando que, da extensão total de 1 km, um segmento de aproximadamente 300 m se encontra em estado de degradação bastante avançado, concentrando a maioria dos defeitos inventariados no formulário e que, os 700 m restantes apresentaram defeitos pouco frequentes e com baixa severidade, foi realizada a análise separada dos subtrechos supracitados através dos defeitos observados no mapeamento com o drone.

Os resultados estão apresentados em porcentagem, conforme mostrado no Gráfico 2.

Gráfico 2: Porcentagem de defeitos por subtrecho

Fonte: Autoria própria (2021)

Como notado no Gráfico 2, o trecho com extensão de 300 m possui 83% do total de defeitos catalogados no mapeamento com drone, no tempo em que o trecho de 700 m compreende 17% desses defeitos, oferecendo melhores condições de tráfego.

Tendo em vista que 30% da extensão total avaliada possui defeitos generalizados, com degradação da camada de revestimento e base, sugere-se como medida de manutenção a reconstrução deste subtrecho. Para o trecho com menor grau de deterioração, recomenda-se a correção de pontos localizados ou recapeamento.

5.6 POSSÍVEIS CAUSAS DOS DEFEITOS INVENTARIADOS

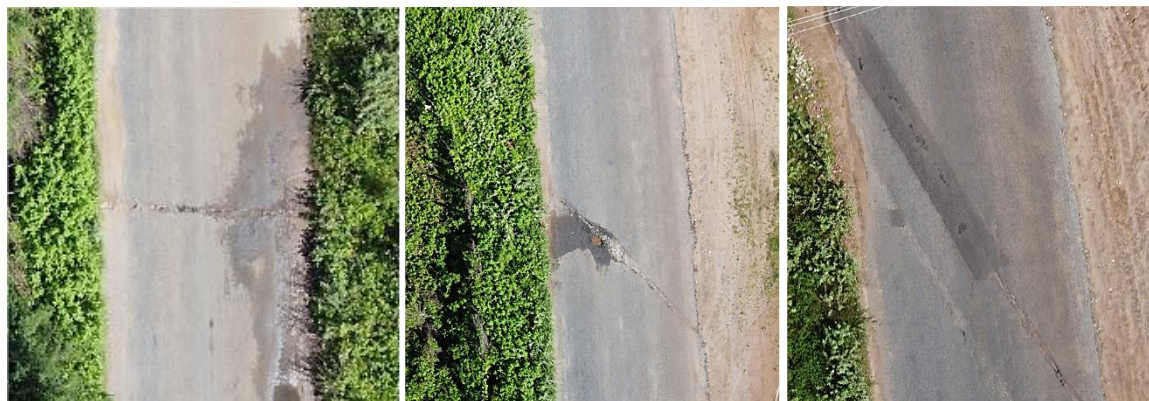
As principais manifestações patológicas encontradas no trecho em estudo da RN-233 foram as placas, trincamentos, remendos, deformações e desgaste. Cada problema pode estar atrelado a diversas causas e, por isso, deve ser considerado separadamente.

No que se refere ao trincamento, as trincas isoladas presentes na superfície da rodovia podem estar relacionadas ao envelhecimento do material aglutinante (ligante asfáltico) pelo tempo de exposição. As trincas “*couro de jacaré*” podem ser resultantes, também, do envelhecimento do ligante asfáltico e repetição de cargas dos veículos. Em relação ao desgaste que, por sua vez, se apresenta em uma extensão considerável do pavimento, destaca-se como possíveis causas a perda da aderência entre o ligante e o agregado, podendo ainda, estar associado a presença de água no interior da camada de revestimento.

Os afundamentos evidenciados podem ter sido manifestados devido à deficiência na compactação ou ruptura das camadas subjacentes ao revestimento, bem como, dificuldades na drenagem. A formação de placas consiste na evolução dos demais defeitos mencionados, podendo também estar relacionadas ao excesso de umidade nas camadas do pavimento.

De modo geral, foi observado que a extensão do trecho com maior nível de deterioração estava localizada nas proximidades de um açude (Figura 23), fator que pode ter ocasionado ou acentuado os defeitos existentes na rodovia pela infiltração da água nas camadas da estrutura. Também foi constatado que em 3 pontos do pavimento houve quebra da camada de revestimento para instalação de tubulações para passagem de água destinada ao abastecimento de residências, como mostrado na Figura 24. Associados a esses fatores destaca-se a falta de manutenção periódica na rodovia, o que resulta no agravamento de problemas que comprometem as condições de rolamento da via.

Figura 24: Quebra do pavimento para instalação de tubulações



Fonte: Autoria própria (2021)

5.7 EVOLUÇÃO DOS DEFEITOS NA SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO

Através do Google Maps, foram obtidas imagens do trecho da rodovia RN-233 referentes aos anos de 2011 e 2019 (Figuras 25 e 26) para posterior comparativo do estado geral deste mesmo trecho no ano de 2021, utilizando registros fotográficos capturados pelo drone (Figura 27).

Figura 25: Registro do trecho no ano de 2011



Fonte: Google Maps (2021)

Ao realizar o acompanhamento do trecho utilizando o *street view*, ferramenta do Google Maps, foi possível observar que, no ano de 2011, a superfície do pavimento já apresentava incidência de remendos, trincas e desgaste. No entanto, quando comparados aos registros dos anos subsequentes, estes defeitos foram percebidos em menor frequência e nível de gravidade, oferecendo ainda condições de rolamento satisfatórias.

Passado um período de 8 anos, a rodovia apresentou maior nível de degradação, Figura 26, sendo visível o desgaste da superfície, bem como o aparecimento de remendos e trincas, principalmente as do tipo “*couro de jacaré*”, às quais, em conjunto com os desgastes, contribuíram para a formação de panelas. Tais observações também foram obtidas pela verificação do trecho com o uso do *street view*.

Figura 26: Registro do trecho no ano de 2019



Fonte: Google Maps (2021)

Atualmente, através da Figura 27, é visto o agravamento dos problemas já mencionados, com destaque aos defeitos do tipo panela - com dimensões bem expressivas -, e desgaste da superfície.

Figura 27: Registro do trecho no ano de 2021



Fonte: Autoria Própria (2021)

6. CONCLUSÃO

Por meio deste estudo permitiu-se realizar a avaliação da superfície de pavimento asfáltico através do levantamento de dados em campo com uso de diferentes formas de coleta. Atendendo aos objetivos deste trabalho, foram identificados os principais defeitos existentes em um trecho da rodovia RN-233 e, verificada a viabilidade do uso de imagens digitais para inspeção de defeitos em pavimento. A partir da análise dos resultados observou-se que:

- O pavimento avaliado tem sua serventia diminuída em razão da incidência de panelas, sendo este o defeito mais recorrente, seguido de trincas, remendos e afundamentos, com um menor número de ocorrência. Não foram localizados defeitos do tipo exsudação, escorregamento, ondulações e trinca em “bloco”;
- Embora se tratando de uma metodologia que dispõem de trabalho reduzido e boa praticidade no processo de obtenção de informações, o método LVC fixado pelo DNIT apresenta deficiência nos dados levantados, tendo em vista que não é possível catalogar todos os defeitos presentes na via e verificar suas dimensões. Além disso, os parâmetros necessários para o cálculo do IES estão associados às conclusões dos técnicos avaliadores e, portanto, no caso de considerações equivocadas, os resultados podem ser comprometidos;
- A inspeção de defeitos com uso de *smartphone* mostrou limitações para leitura de algumas manifestações patológicas de baixo nível de gravidade, principalmente, trincas isoladas e afundamentos. A resolução do vídeo, que foi de baixa qualidade, dificultou a identificação dos defeitos. À vista disso, recomenda-se a utilização de um aparelho com câmera de melhor resolução para obtenção de resultados mais precisos;
- O drone apresentou melhor desempenho para coleta de dados, possibilitando o levantamento de um maior número de defeitos, em relação aos demais métodos empregados neste estudo. Mostrou-se uma alternativa prática para realização de atividades em campo devido à rapidez na captura de imagens. Sugere-se para trabalhos futuros o tratamento das imagens em *softwares* para que seja feita a análise em 3D da área de interesse, possibilitando quantificar a profundidade de afundamentos e panelas;
- Quanto aos Índices do Estado da Superfície do pavimento, percebeu-se uma variação entre os valores calculados. Através das informações obtidas no

mapeamento com o drone, foi encontrado um IES igual a 10, correspondendo a um conceito de pavimento péssimo. Já com os dados obtidos pela aplicação do método LVC e gravação de vídeo com a utilização de aparelho *smartphone* foi encontrado um IES igual a 7, classificando o pavimento estudado como ruim;

- Através da divisão do trecho em seções foi visível a predominância de defeitos no subtrecho com 300 m de extensão, cerca de 83%, enquanto que o subtrecho com 700 m corresponde a uma porcentagem 17%. Com base nos valores obtidos foram indicadas, para manutenção do pavimento, a reconstrução do subtrecho de 300m e a correção de pontos localizados ou recapeamento no subtrecho de 700 m.

Ao final deste trabalho, é notada a importância de realizar a avaliação de pavimentos para melhor controle e planejamento da infraestrutura do transporte rodoviário, e ainda, a relevância de estudar novas metodologias, com viabilidade técnica e econômica, que acelerem o processo de coleta de dados e identificação de defeitos de superfície.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA GOIANA DE INFRAESTRUTURA E TRANSPORTES - **GOINFRA**: INSTRUÇÃO DE PROJETO RODOVIÁRIO: Levantamento Visual Contínuo - LVC. Goiana: Goinfra, 2018.

ANAC - AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL. **INSTRUÇÃO SUPLEMENTAR - IS Nº 21-002**: emissão de certificado de autorização de voo experimental para veículos aéreos não tripulados. [S.L.], 2012.

ANAC - AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL. **Regulamento brasileiro da aviação civil especial (RBAC-E nº 94)**: requisitos gerais para aeronaves não tripuladas de uso civil. [S.L.], 2017.

BALDO, José Tadeu. **Pavimentação asfáltica**: materiais, projetos e restauração. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

BALLESTEROS, R. D.; LORDSLEEM JUNIOR, A. C. **Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT) para inspeção de manifestações patológicas em fachadas com revestimento cerâmico**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 21, n. 1, p. 119-137, 2021. ISSN 1678-8621 Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído.

BERNUCCI, Liedi Bariani et al. **Pavimentação asfáltica**: formação básica para engenheiros. 3. ed. Rio de Janeiro: PETROBRAS, ADEBA, 2010.

BRANCO, Luiz Henrique Castelo. **MANIAC**: uma metodologia para o monitoramento automatizado das condições dos pavimentos utilizando VANTs. 2016. 193 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciências, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2016.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE - CNT. **Conheça os 13 principais defeitos do pavimento das rodovias**. Brasília, 2018. Disponível em: <https://www.cnt.org.br/agencia-cnt/conheca-principais-defeitos-pavimento>. Acesso em: 31 jan. 2021.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE - CNT. **Transporte Rodoviário - Impactos da Qualidade do Asfalto sobre o Transporte Rodoviário**. Brasília, 2019. Disponível em: <https://cnt.org.br/impactos-qualidade-asfalto-transporte-rodoviario>. Acesso em: 27 jan. 2021.

DANIELESKI, Maria Luiza. **Proposta de Metodologia para avaliação superficial de pavimentos urbanos**: aplicação à rede viária de porto alegre. 2004. 187 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT 009/2003**: Avaliação subjetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos - Procedimento. Rio de Janeiro: Ipr, 2003.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT 141/2010 - ES**: Pavimentação – Base estabilizada granulometricamente - Especificação de serviço. Rio de Janeiro: Ipr, 2010.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT: Manual de Conservação rodoviária**. 2 ed. Rio de Janeiro: Publicação Ipr-710, 2005.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de Pavimentação**. 3 ed. Rio de Janeiro: Publicação Ipr-719, 2006.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT 006/2003 - PRO**: Avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos - Procedimento. Rio de Janeiro: ipr, 2003.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT 008/2003 - PRO**: Levantamento visual contínuo para avaliação da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos Procedimento. Rio de Janeiro: ipr, 2003.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT: Manual de restauração de pavimentos asfálticos**. Rio de Janeiro: Publicação Ipr-720, 2006.

DOD – DEPARTMENT OF DEFENSE. **Unmanned Aerial Vehicles (UAV) Roadmap 2002-2027**. Washington, 2003. 195p.

EISENBEISS, Henri. **UAV Photogrammetry**. 2009. 236 f. Tese (Doutorado) - Curso de Sciences, University Of Technology Dresden, Dresden, 2009.

FONTES, L. P. T. L.. **Optimização do Desempenho de Misturas Betuminosas com Betume Modificado com Borracha para Reabilitação de Pavimentos**. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade do Minho, 2009.

FURTADO, V. H. et al. Aspectos de segurança na integração de veículos aéreos não tripulados (vant) no espaço aéreo brasileiro. Anais do VII Simpósio de Transporte aéreo-Sitraer7, 2008. P. 506-517, 2008.

GONÇALVES, Fernando Pugliero. **O Diagnóstico e a Manutenção dos Pavimentos (Notas de aula)**. 1999. Disponível em: <http://usuarios.upf.br/~pugliero/arquivos/10.pdf>. Acesso em: 08 fev. 2021.

KANG, S. C; CHEN, A. Y.; HUANG, Y. N; HAN, J. Y; LAI, J. S; LIU, P.; WU, T. H; WEN, M. C; TSAI, M. H. A review of rotorcraft Unmanned Aerial Vehicle (UAV) developments and applications in civil engineering. Techno-Press, 2014. Smart Structures and Systems, Vol. 13, No. 6 (2014) 1065-1094.

Lucieer, A.; Robinson, S.; Turner, D.; Steve, Ha.; Kelcey, J. 2012. **Using a Micro-UAV for ultra-high resolution multi-sensor observations of Antarctic moss beds**. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XXXIX-B1, 2012.

MACHADO, Denise Maria Camargo. **Avaliação de normas de identificação de defeitos para fins de gerência de pavimentos flexíveis**. 2013. 130 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Transportes, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013.

RIBEIRO, Thiago Pinheiro. **Estudo Descritivo das Principais Patologias em Pavimento Flexível**. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Edição 04. Ano 02, Vol. 01. pp 733-754, Julho de 2017. ISSN:2448-0959.

ROBERTO, Arcádio Joaquim. **Arcádio Joaquim Roberto**. 2013. 108 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Sistemas de Informação Geográfica, Departamento de Geociências,

Ambiente e Ordenamento do Território, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, Porto, 2013.

SOUZA, Amanda Aparecida. **AVALIAÇÃO OBJETIVA DA SUPERFÍCIE DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS COM O USO DE GEOTECNOLOGIAS**. 2020. 72 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2020

VILAR, Bárbara. ESTUDO DE CASO - APLICAÇÃO DE DRONES NA ENGENHARIA. In: **Congresso Brasileiro de Inovação e Gestão de Desenvolvimento do Produto**, 12. 2019, Brasília. Anais, Brasília: Congresso Brasileiro de Inovação e Gestão de Desenvolvimento do Produto, 2019. p. 1-16.

ZANCHETTA, Fábio. **Aquisição de Dados sobre a Condição dos Pavimentos visando a Implementação de Sistemas de Gerência de Pavimentos Urbanos**. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Carlos, 2005.

