



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DA BAHIA
CENTRO DAS CIÊNCIAS EXATAS E DAS TECNOLOGIAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

BEATRIZ ALVES DE LIMA

**AVALIAÇÃO OBJETIVA DA CONDIÇÃO DO PAVIMENTO
FLEXÍVEL DE UMA VIA DA CIDADE DE BARREIRAS-BA**

**BARREIRAS-BA
SETEMBRO-2024**

BEATRIZ ALVES DE LIMA

**AVALIAÇÃO OBJETIVA DA CONDIÇÃO DO PAVIMENTO
FLEXÍVEL DE UMA VIA DA CIDADE DE BARREIRAS-BA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Oeste da Bahia, como requisito parcial à obtenção do grau de Engenharia Civil.

Orientadora: Prof^ª. D.Sc. Oisy Hernandez Menendez

**BARREIRAS-BA
SETEMBRO - 2024**

FICHA CATALOGRÁFICA

L732 Lima, Beatriz Alves de.

Avaliação objetiva da condição do pavimento flexível de uma via da cidade de Barreiras-BA. / Beatriz Alves de Lima. – 2024.

74f.

Orientador: Prof. Oisy Hernández Menéndez.

Monografia (Graduação) – Bacharelado em Engenharia Civil. Universidade Federal do Oeste da Bahia. Centro das Ciências Exatas e das Tecnologias. Barreiras, BA, 2024.

1. Patologias. 2.Revestimento. 3.Índice de Gravidade Global. I. Menéndez, Oisy Hernández. II. Universidade Federal do Oeste da Bahia - Centro das Ciências Exatas e das Tecnologias. III. Título.

CDD 624

Biblioteca Universitária de Barreiras - UFOB

BEATRIZ ALVES DE LIMA

**AVALIAÇÃO OBJETIVA DA CONDIÇÃO DO PAVIMENTO
FLEXÍVEL DE UMA VIA DA CIDADE DE BARREIRAS-BA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao curso de Engenharia Civil da Universidade Federal
do Oeste da Bahia, como requisito à obtenção do grau
de Engenheira Civil.

Aprovada em 02 de setembro de 2024.

Banca Examinadora

Orientadora: _____

Prof^a. Dra. Oisy Hernandez Menendez
Universidade Federal do Oeste da Bahia

Prof. Dr. Vinícius de Oliveira Kuhn
Universidade Federal do Oeste da Bahia

Dr. Nelson Padrón Sánchez
Vale

*Aos meus pais, Idalina e Sérgio,
que me ensinaram a caminhar e
permitiram que eu voasse.*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, que me manteve forte, focada e determinada durante toda minha vida e especialmente nesta graduação, onde eu pude viver a Tua palavra que diz “todas as coisas contribuem para o bem daqueles que amam a Deus”. Em momentos que tudo poderia dar errado, ocorreu o melhor para mim e nisto sinto Teu agir.

À minha mãe, Idalina Alves Bento de Lima, que me ensinou o que é ser uma mulher corajosa, dedicada, resolutiva, firme, e prezar por ter opiniões embasadas, características essas que considero ser de uma boa engenheira. Obrigada por ter me ensinado a nunca desistir antes de ter tentado e pensar em soluções não triviais. Agradeço ainda por todo amor, apoio e carinho que me mantiveram de pé nesta longa caminhada.

Ao meu pai, Sérgio Fernandes de Lima, que me ensinou a ser curiosa, leve e animada, nunca sendo um empecilho para tentar com erros e acertos e assim alcançar tudo que almejo. Agradeço por todo amor e apoio direto e indireto que me deu que possibilitaram a finalização desta graduação e pelos melhores valores que me passou.

À minha irmã, Daniela Alves de Lima, que foi e sempre será minha inspiração, desde o time de futebol ao amor pela engenharia, desde sempre eu gostaria de ser como você quando eu crescesse pois você é inteligente, dedicada e determinada. Obrigada por ter passado por tanto e sempre buscado me ajudar e proteger em todo esse percurso.

A toda minha família que me apoiou e sempre demonstrou orgulho de mim, vocês sempre me deram força e foram meu refúgio e escape, me proporcionando leveza e risadas neste percurso.

À Luiza Sá Teles, que foi meu satélite natural nessa graduação sendo luz nas noites mais escuras. A Gervásio Ferreira, Abel Alves e Beatriz Oliveira, sem todos vocês este trabalho realmente não seria possível. Agradeço por todo amor e apoio durante toda a graduação, vocês tornaram estes 5 anos muito mais leves e divertidos. Agradeço ainda a Carlos Henrique Vielmo por todo amor, apoio e por sempre se fazer presente desde o início da minha jornada com as edificações.

A todos os professores da universidade, que me moldaram e me guiaram, cada um provendo um pedaço de si para minha formação como engenheira, em especial à minha orientadora neste trabalho e durante boa parte da graduação, Oisy Hernandez, que sempre acreditou em meu potencial e me impulsionou. Agradeço pela paciência, carinho e por buscar que eu desse meu melhor, sendo uma inspiração como engenheira.

À banca examinadora, Vinícius Kuhn e Nelson Padrón por terem aceitado o convite e por terem feito considerações importantes e significativas para este trabalho para que fosse extraído o melhor dele.

À Universidade Federal do Oeste da Bahia (UFOB) por ter sido palco da minha transformação de menina em engenheira, com toda estrutura necessária para me formar como profissional de excelência. Agradeço ainda à Veridiane que me deu energia para que esse trabalho fosse executado.

Ao Centro de Ciências Exatas e das Tecnologias (CCET) que proporcionou condições para que este trabalho fosse realizado.

A todos que foram citados e os que não foram, mas contribuíram de forma direta ou indireta para minha graduação e construção como profissional, os agradeço imensamente, sem cada um de vocês eu não teria motivos para agradecer hoje. Por fim, agradeço à Beatriz de 6 anos atrás que começou sonhar com este momento e hoje realiza, não deixe nunca de sonhar.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Crescimento da frota de veículos no Brasil até 2022..... | 14 |
| Figura 2. Série histórica da frota de veículos em Barreiras-BA..... | 15 |
| Figura 3. Camadas do pavimento flexível..... | 16 |
| Figura 4. Comportamento do VSA no tráfego ou tempo..... | 20 |
| Figura 5. Treliça para medição da trilha da roda..... | 21 |
| Figura 6. Dispositivo Dipstick e sistema de funcionamento..... | 24 |
| Figura 7. Faixas de variação do IRI..... | 25 |
| Figura 8. Ilustração da macrotextura e microtextura..... | 26 |
| Figura 9. Ensaio de frasco de areia..... | 26 |
| Figura 10. Corpo de prova de revestimento asfáltico..... | 30 |
| Figura 11. Comportamento do pavimento flexível..... | 31 |
| Figura 12. Área urbana de Barreiras-BA..... | 35 |
| Figura 13. Variação de temperatura em Barreiras-BA..... | 36 |
| Figura 14. Precipitação mensal média em Barreiras-BA..... | 36 |
| Figura 15. Destaque da rua Capitão Manoel Miranda..... | 37 |
| Figura 16. Instrumento utilizado para medição das flechas. Medidas em mm..... | 38 |
| Figura 17. Instrumentos de medição utilizados..... | 38 |
| Figura 18. Medida da via de estudo..... | 39 |
| Figura 19. Superfície de avaliação da estaca 60..... | 39 |
| Figura 20. Medição da trilha da roda externa..... | 40 |
| Figura 21. Divisão da via em trechos..... | 42 |
| Figura 22. Gráfico acerca da frequência absoluta dos defeitos na via completa..... | 43 |
| Figura 23. Gráfico acerca da frequência relativa dos defeitos na via completa..... | 44 |
| Figura 24. Gráfico da frequência relativa de defeitos no trecho 1..... | 44 |
| Figura 25. Gráfico da frequência relativa de defeitos no trecho 2..... | 45 |
| Figura 26. ATC na estaca 24 (a). ATC com trinca longitudinal longa na estaca 16 (b). | 46 |
| Figura 27. Remendos presentes na estaca 15 (a). Remendo presente na estaca 14 (b). | 48 |
| Figura 28. Resultados obtidos por Almeida (2022) na mesma via..... | 54 |
| Figura 29. Delimitação de subtrechos por Almeida (2022)..... | 54 |
| Figura 30. Estaca 54 com remendos fora da superfície de avaliação demarcada..... | 56 |
| Figura 31. Croqui de defeitos T-1..... | 57 |
| Figura 32. Croqui de defeitos T-2..... | 58 |
| Figura 33. Legenda do croqui..... | 59 |
| Figura 34. Defeito causado por manutenção no esgotamento público..... | 60 |
| Figura 35. Remendo e panela na interseção anterior ao corpo e bombeiros..... | 60 |
| Figura 36. Defeitos não catalogados antes..... | 61 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1. Compilado de normas nacionais e internacionais que versam sobre métodos de avaliação de pavimentos..... | 17 |
| Tabela 2. Compilação de Estudos relacionados ao VSA..... | 20 |
| Tabela 3. Conceitos de degradação do pavimento em função do IGG..... | 23 |
| Tabela 4. Classificação da macrotextura..... | 27 |
| Tabela 5. Classificação da microtextura..... | 27 |
| Tabela 6. Agrupamento de estudos focados em avaliações objetivas..... | 28 |
| Tabela 7. Estudos relacionados à avaliação estrutural de pavimentos..... | 32 |
| Tabela 9. Valores calculados para as flechas das trilhas da roda para a via..... | 49 |
| Tabela 10. Valores calculados para as flechas das trilhas da roda para o T-1..... | 49 |
| Tabela 11. Valores calculados para as flechas das trilhas da roda para o T-2..... | 49 |
| Tabela 12. Resultado de IGG da via Rua Capitão Manoel Miranda..... | 51 |
| Tabela 13. Resultado de IGG para trecho I da Rua Capitão Manoel Miranda..... | 52 |
| Tabela 14. Resultado de IGG do trecho 2 da Rua Capitão Manoel Miranda..... | 53 |
| Tabela 15. IGG dos trechos T-1 e T-2..... | 55 |

RESUMO

O Brasil tem investido significativamente em rodovias desde o início de sua industrialização, o que gerou uma grande dependência do transporte rodoviário. O aumento contínuo da frota de veículos e a consequente sobrecarga na infraestrutura rodoviária destacam a necessidade de uma abordagem eficaz para a avaliação e manutenção dos pavimentos. Este estudo visa avaliar a qualidade e o conforto de rolamento dos pavimentos rodoviários, focando na Rua Capitão Manoel Miranda, utilizando o Índice de Gravidade Global (IGG) e comparando-o com outros métodos de avaliação já aplicados na área. O ensaio foi conduzido conforme a norma DNIT 006/2003 – PRO. Os resultados foram segmentados em dois trechos (T-1 e T-2) para uma análise mais detalhada. Os valores obtidos foram 103,56 para a via completa, 115,86 para T-1 e 89,37 para T-2, todos classificados como "Ruim" quanto ao grau de degradação do pavimento, indicando a necessidade de avaliação estrutural e manutenções corretivas nos dois trechos. A comparação com a avaliação subjetiva realizada por Almeida (2022) revelou diferenças, com resultados mais brandos naquele estudo. Essas discrepâncias podem ser atribuídas à menor influência subjetiva dos avaliadores na análise ou ao intervalo de dois anos entre os estudos. Conclui-se que o estudo alcançou seu objetivo de fornecer uma análise objetiva da via, permitindo a comparação com a avaliação anterior e destacando a necessidade de intervenções para garantir a qualidade da infraestrutura rodoviária.

Palavras-Chave: Patologias, Revestimento, Índice de Gravidade Global.

ABSTRACT

Brazil has significantly invested in road infrastructure since the early stages of its industrialization, leading to a high dependence on road transport. The continuous increase in the vehicle fleet and the resulting overload on road infrastructure highlight the need for an effective approach to pavement evaluation and maintenance. This study aims to assess the quality and ride comfort of road pavements, focusing on Rua Capitão Manoel Miranda, using the *Índice de Gravidade Global* (IGG) and comparing it with other evaluation methods previously applied in the area. The testing was conducted according to the DNIT 006/2003 – PRO standard. The results were segmented into two sections (T-1 and T-2) for more detailed analysis. The obtained values were 103.49 for the entire road, 115.86 for T-1, and 89.24 for T-2, all classified as "Poor" in terms of pavement degradation, indicating the need for structural assessment and corrective maintenance. The comparison with the subjective evaluation conducted by Almeida (2022) revealed differences, with milder results in that study. These discrepancies may be attributed to the lower subjective influence of the evaluators in the analysis or to the two-year interval between the studies. It is concluded that the study achieved its goal of providing an objective analysis of the road, allowing for comparison with the previous evaluation and highlighting the need for interventions to ensure the quality of road infrastructure.

Key-words: Pathologies, Coating, Global Severity Index.

Sumário

| | |
|---|-----------|
| 1. INTRODUÇÃO..... | 11 |
| 1.1 JUSTIFICATIVA | 12 |
| 1.2. OBJETIVOS | 13 |
| 1.2.1. OBJETIVO GERAL | 13 |
| 1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 13 |
| 2. REVISÃO DE LITERATURA | 14 |
| 2.1. TRANSPORTE NO BRASIL..... | 14 |
| 2.1.1. O CRESCIMENTO DA FROTA | 14 |
| 2.2. O PAVIMENTO | 15 |
| 2.3. MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DO PAVIMENTO | 17 |
| 2.3.1. NORMATIZAÇÃO | 17 |
| 2.3.2. AVALIAÇÃO SUBJETIVA..... | 18 |
| 2.3.3. AVALIAÇÃO OBJETIVA | 21 |
| 2.3.4. AVALIAÇÃO ESTRUTURAL | 29 |
| 3. MATERIAIS E MÉTODOS | 34 |
| 3.2. LOCAL DE ESTUDO. | 34 |
| 3.2.1. CLIMA | 35 |
| 3.3. VIA DE ESTUDO | 37 |
| 3.4. OBTENÇÃO DO ÍNDICE DE GRAVIDADE GLOBAL (IGG)..... | 37 |
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES..... | 43 |
| 4.1. INVENTÁRIO DE OCORRÊNCIAS..... | 43 |
| 4.2. MEDIDAS DAS FLECHAS..... | 48 |
| 4.3. PLANILHA DE CÁLCULO DO ÍNDICE DE GRAVIDADE GLOBAL (IGG)..... | 50 |
| 4.4. COMPARATIVO COM AVALIAÇÃO SUBJETIVA NA VIA..... | 54 |
| 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS | 62 |
| 6. SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS | 63 |
| 7. REFERÊNCIAS..... | 64 |

1. INTRODUÇÃO

Desde os anos 1930, o Brasil tomou a construção de rodovias para o transporte de carga como uma das medidas de industrialização do país. Esta característica perdura até os dias atuais e é comprovada pelo fato que o modal de transporte rodoviário corresponde a 67,61% de todo o transporte realizado no país (EPL, 2021).

Ademais nota-se o crescimento da frota de veículos no Brasil. Segundo a Secretaria Nacional de Trânsito-SENATRAN em 2022 a frota de veículos, incluindo todas as modalidades como carros, motos, caminhões, carretas, ônibus, dentre outros, ultrapassou 115 milhões, em comparativo com 10 anos antes em 2012 onde a frota era pouco menos de 80 milhões, representando um crescimento superior a 40%. Este aumento na frota incide sobre a qualidade das vias devido ao aumento da fadiga e carga que deve ser suportada por estas (SENATRAN, 2022).

No entanto, no sentido contrário ao crescimento dos quilômetros de rodovias a tecnologia brasileira não evoluiu proporcionalmente na área de construção de pavimentos. Um estudo realizado pela Confederação Nacional de Transporte (CNT) concluiu que a metodologia para projetar pavimentos possui um atraso de 40 anos e comparada a países europeus e norte-americanos. Além disso, o estudo trouxe que um dos principais problemas relacionados à origem das manifestações patológicas do pavimento está ligado à falta de manutenção preventiva (CNT, 2017).

Consoante aos motivos apresentados tornam-se necessários estudos do pavimento e maneiras de avaliação deste para que os diagnósticos sejam tanto quanto possível fidedignos e medidas sem tomadas.

No Brasil o tipo de pavimento empregado é majoritariamente o flexível, por tal, a maior parte dos métodos de avaliação do pavimento são consequentemente direcionados à análise de pavimento flexível, sendo tais avaliações objeto de estudo deste trabalho.

As avaliações podem ser divididas em três categorias: subjetiva, objetiva e estrutural. A avaliação subjetiva é baseada na opinião do usuário e resulta no Valor de Serventia Atual (VSA), que varia de 0 a 5, onde 0 é a pior condição do pavimento e 5 a melhor (DNIT, 2003a).

A avaliação objetiva usa indicadores numéricos para medir a qualidade do pavimento. Segundo a norma DNIT PRO 006/2003, são definidos os parâmetros Índice de Gravidade Individual (IGI) e Índice de Gravidade Global (IGG). Também são métodos de avaliação objetiva a obtenção do Índice de Regularidade Individual (IRI), macrotextura e microtextura (Bernucci et al., 2008).

Já a avaliação estrutural, que analisa a capacidade de carga do pavimento, é dividida em três tipos: ensaios destrutivos onde retiram amostras do pavimento para realizar testes de carga em laboratório; ensaios semidestrutivos, semelhantes aos destrutivos, mas causam menos danos ao pavimento; e os ensaios não destrutivos onde é medida a deflexão do pavimento, refletindo a deformação elástica causada pelas cargas.

Dito isso, observa-se que as diversas metodologias de avaliação abordam o pavimento sob perspectivas distintas. Diante do exposto, faz-se necessário o estudo e comparação dos métodos de avaliação do pavimento, considerando que a realização de uma análise fidedigna e de qualidade resulta na melhor conduta de manutenção do pavimento, promovendo conforto, economia e segurança aos usuários.

1.1 JUSTIFICATIVA

A via analisada, situa-se no município de Barreiras, importante cidade do oeste da Bahia, por este motivo as principais vias são muito solicitadas e devem apresentar um alto nível de qualidade.

A fim de medir a qualidade e o conforto de rolamento da via, faz-se necessário a avaliação superficial do pavimento com o objetivo de obter um diagnóstico assertivo em quanto as suas condições e quais medidas devem ser tomadas, relacionadas fundamentalmente à manutenção da via.

Ademais, há a tendência de que a comparação entre os resultados de diferentes avaliações possa fornecer precisão à análise do pavimento e auxílio para a seleção do melhor tipo de solução.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo Geral

Realizar a avaliação objetiva do pavimento flexível da via Rua Capitão Manoel Miranda através da obtenção do Índice de Gravidade Global e comparar com outros métodos de avaliação já utilizados no trecho de estudo.

1.2.2. Objetivos específicos

- Realizar um levantamento das condições da via, desde o ponto de vista geométrico;
- Identificar as condições do pavimento desde o ponto de vista de patologias existentes;
- Aplicar o método de avaliação objetiva utilizando a norma DNIT 006/2003 – PRO;
- Comparar os resultados obtidos com a avaliação subjetiva realizada por Almeida (2022) no mesmo trecho.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Nesta seção serão abordadas as características dos transportes no Brasil, as características do pavimento e seus métodos de avaliação, tanto objetivos, quanto subjetivos e estruturais.

2.1. Transporte no Brasil

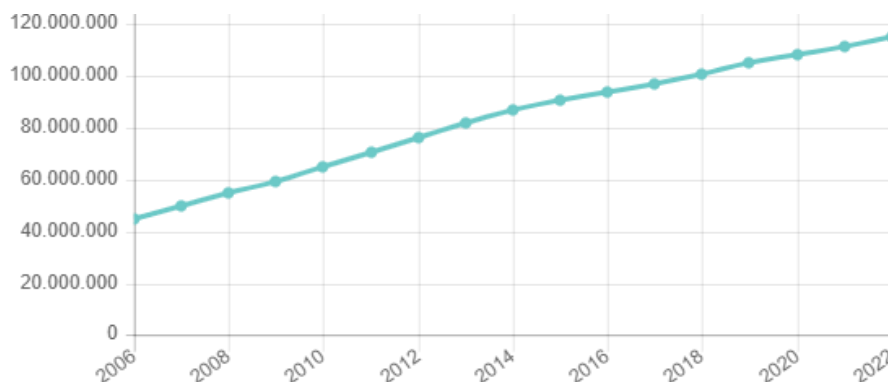
O modal rodoviário corresponde a 67,61% de todo o transporte realizado no Brasil, incluindo cargas e pessoas, na perspectiva do transporte interurbano de pessoas este percentual passa a ser 57,66% no ano de 2017 (EPL, 2021), sendo em qualquer perspectiva o principal modal de transporte no Brasil.

Segundo a Confederação Nacional de Transportes-CNT na Pesquisa de Rodovias o estado geral (que considera condições do pavimento, sinalização e geometria da via), da malha rodoviária brasileira piorou em 2022 em relação ao ano anterior. Dos 110.333 quilômetros avaliados, 66,0% foram classificados como Regular, Ruim ou Péssimo. Em 2021, esse percentual era de 61,8%. A respeito das condições do pavimento 55,5% dos quilômetros avaliados foram classificados como Regular, Ruim ou Péssimo (CNT, 2022).

2.1.1. O crescimento da frota

Segundo a Secretaria Nacional de Trânsito (SENATRAN) a frota de veículos no Brasil, incluindo veículos leves como carros, motos e caminhonetes e veículos pesados tais como ônibus e caminhões, ultrapassaram 115 milhões em 2022. Na figura 1, constata-se a série histórica do crescimento da frota no país, onde o eixo das ordenadas indica o número de veículos.

Figura 1. Crescimento da frota de veículos no Brasil até 2022.

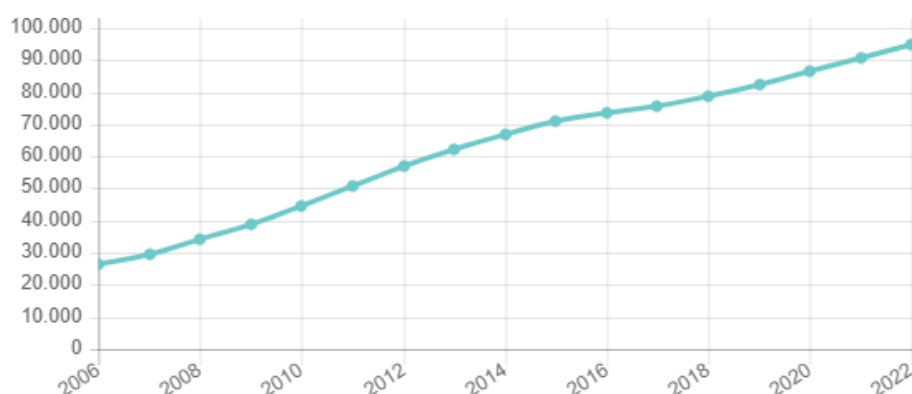


Fonte: SENATRAN, 2022.

Através dos dados do gráfico, é possível observar que 10 anos antes, em 2012, a frota de veículos no Brasil se aproximava de 80 milhões, o que se comparada à frota atual, nota-se um crescimento superior a 40%. Tal crescimento da frota incide no aumento da carga suportada pelo pavimento das rodovias, por onde trafegam 90% dos passageiros e 60% das cargas no Brasil. Por este motivo, é essencial para a economia e requer a devida atenção para prover desenvolvimento e mitigar prejuízos (CNT, 2022). Tal atenção refere-se aos estudos, tecnologias e avaliações das vias existentes a fim de prover uma melhor qualidade no deslocamento rodoviário.

No cenário municipal, também é possível observar o aumento da frota de veículos no município de Barreiras-BA. Tais dados foram obtidos pelo SENATRAN e veiculados pelo IBGE. A figura 2 mostra o crescimento do município.

Figura 2. Série histórica da frota de veículos em Barreiras-BA.



Fonte: SENATRAN, 2022.

Através do gráfico, observa-se um aumento da frota de aproximadamente 60% em 10 anos, sendo um crescimento percentualmente maior se comparado ao nacional, requerendo desta forma uma atenção ao pavimento ainda maior.

2.2. O pavimento

No que tange ao pavimento, este pode ser definido como uma estrutura de múltiplas camadas de espessura finitas que tem por objetivo resistir aos esforços tanto verticais quanto horizontais promovendo segurança e conforto aos usuários (DNIT, 2006).

Sendo o revestimento a camada que se destina a receber a carga dos veículos e mais diretamente a ação climática. Portanto, essa camada deve ser tanto quanto possível impermeável e resistente aos esforços de contato pneu-pavimento em movimento, que são variados conforme a carga e a velocidade dos veículos (Bernucci *et al.*, 2008).

O pavimento pode ser classificado quanto sua rigidez, sendo flexível, semi-rígido e rígido, sendo definidas segundo o DNIT (2006):

- Flexível: pavimento em que todas as camadas sofrem deformação elástica significativa, sendo formado de base granular e revestimento asfáltico.
- Semi-Rígido: pavimento cuja camada base possui algum aglutinante com propriedades cimentícias.
- Rígido: pavimento cuja camada de revestimento possui elevada rigidez e absorve praticamente todas as tensões do carregamento, normalmente constituído por lajes de concreto.

Medina e Motta (2015) ainda define o pavimento flexível como estrutura constituída por um revestimento asfáltico sobre uma base granular ou de solo estabilizado granulometricamente.

No Brasil, cerca de 95% dos pavimentos são do tipo flexível, isto é, o revestimento possui material asfáltico em sua composição (Almeida e Jussara, 2016), e possui configuração básica de camadas ilustrada na figura 3:

Figura 3. Camadas do pavimento flexível.



Fonte: EPL, 2021.

O uso das camadas complementares se dá através de verificação de necessidade por falta de resistência da camada de sub-leito pré-existente, por questões econômicas ou ainda de uso e tráfego da via a ser construída.

Segundo Bernucci *et al.* (2008), os defeitos de superfície podem aparecer precocemente, devido a erros ou inadequações, ou a médio ou longo prazo, devido à utilização pelo tráfego e efeitos das intempéries. Isto posto, faz-se necessário o estudo de métodos de avaliação do pavimento para diagnóstico e intervenção objetiva.

2.3. Métodos de avaliação do pavimento

Nesta seção serão discutidas as diferentes maneiras de análise do pavimento, tanto métodos subjetivos, objetivos como estruturais a fim de identificar e caracterizar defeitos que diminuem o aspecto funcional e estrutural do pavimento. Serão abordados de maneira aprofundada métodos de classificação de pavimentos flexíveis.

2.3.1. Normatização

Os métodos de avaliação classificam-se em primeira instância como avaliação subjetiva, objetiva e estrutural (Bernucci *et al.*, 2008). Existem diferentes normas para mensuração da qualidade do pavimento, na tabela 1 foram compiladas algumas das normas encontradas, referentes à avaliação do pavimento tanto nacionais, quanto internacionais.

Tabela 1. Compilado de normas nacionais e internacionais que versam sobre métodos de avaliação de pavimentos.

| Norma | Origem | Nome | Descrição |
|--------------------------------|--|--|---|
| DNER-PRO 011/79 (1979) | Departamento Nacional de Estradas e Rodagem. Brasil. | Avaliação Estrutural dos Pavimentos Flexíveis | Estabelece procedimentos necessários para avaliação estrutural, cálculo de vida restante e reforço necessário. |
| DNER-ME 024/94 (1994) | Departamento Nacional de Estradas e Rodagem. Brasil. | Pavimento – determinação das deflexões por Viga Benkelman | Procedimento de medição de deformação elástica do pavimento utilizando Viga Benkelman. |
| DNER 006/2003-PRO (2003a) | Departamento Nacional de Estradas e Rodagem. Brasil. | Avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos – Procedimento | Obtenção de flecha da trilha da roda, Índice de Gravidade Individual e Índice de Gravidade Global de um trecho de pavimento. |
| DNIT 005/2003-TER (2003b) | Departamento Nacional de Infraestrutura de transportes. Brasil. | Defeitos nos pavimentos flexíveis e semi-rígidos Terminologia | Caracterização dos defeitos que podem ocorrer em pavimentos flexíveis e semirígidos. |
| DNIT 009/2003 – PRO (2003c) | Departamento Nacional de Infraestrutura de transportes. Brasil. | Avaliação subjetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos – Procedimento | Procedimento de obtenção do Valor de Serventia Atual através da listagem de defeitos. |

Continuação Tabela 1. Compilado de normas nacionais e internacionais que versam sobre métodos de avaliação de pavimentos.

| | | | |
|---------------------|---|--|--|
| ASTM D 6433-07/2007 | Sociedade Americana de Testes e Materiais. | Prática padrão para pesquisas de índice de condição de pavimento de estradas e estacionamentos. | Obtenção de método PCI usado para qualificar as condições do pavimento por meio de 19 tipos de defeitos. |
| AASHTO T283-14:2015 | Associação Americana de Funcionários de Rodovias e Transportes Estaduais. | Método padrão de teste de resistência de misturas asfálticas compactadas a danos induzidos por umidade | Mede a resposta da resistência do pavimento flexível frente a umidade. |
| ASTM D4694:2015 | Sociedade Americana de Testes e Materiais. | Método de teste padrão para deflexões com um dispositivo de carga de impulso do tipo queda de peso (FWD) | Mede a deflexão do pavimento simulando as cargas através de impacto no pavimento. |
| EN 13036-1:2019 | Normas Europeias (European Standards) | Avaliação de pavimentos rodoviários – Parte 1: Levantamento visual de irregularidades superficiais – Método de medição | Procedimento de identificação de defeitos no pavimento semelhante à norma DNER 005/2003-TER. |
| .ISO 13473-1:2019 | Organização Internacional de Normatização. | Caracterização da textura do pavimento utilizando perfis de superfície. | Caracterização do pavimento através de aferição de macrotextura. |
| ASTM E2583-07:2020 | Sociedade Americana de Testes e Materiais. | Método de teste padrão para medir deflexões com um deflectômetro leve (LWD) | Versão menor, mais leve e portátil do teste FWD. Mede deflexão. |

Fonte: Autora, 2023.

Os métodos de avaliação discutidos nas normas citadas serão abordados a seguir.

2.3.2. Avaliação subjetiva

O primeiro método de avaliação funcional foi o de serventia concebida por Carey e Irick (1960) para as pistas experimentais da AASHO (*American Association of State Highway Officials*, atual AASHTO, *American Association of State Highway and Transportation Officials*) classificada como avaliação subjetiva do pavimento (Bernucci *et al.*, 2008).

O Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte (DNIT) define e fixa procedimentos para avaliação subjetiva de pavimentos flexíveis e semi-rígidos na norma DNIT 009/2003 - PRO através do valor de serventia atual (VSA), onde é possível encontrar as seguintes definições (DNIT, 2003c):

- Serventia atual: Capacidade de um trecho específico de pavimento de propiciar, através de interpretação subjetiva do usuário, conforto no rolamento em determinado momento, para quaisquer condições de tráfego, atendendo as exigências mínimas do usuário.
- Valor de serventia atual: Valor numérico em uma escala de 0 a 5 que representa as condições de superfície do pavimento, medido subjetivamente por um grupo de avaliadores selecionados que percorrem o trecho analisado, afim de registrar opiniões quanto ao conforto e suavidade do rolamento e a capacidade de atender as exigências do tráfego.

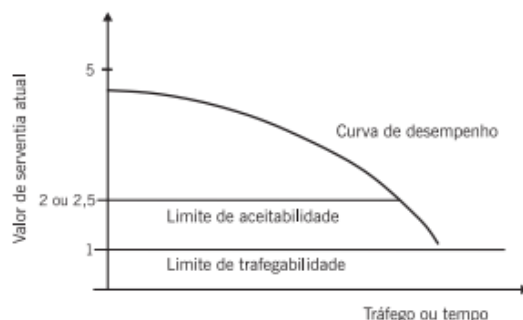
Quanto ao procedimento de obtenção do VSA a norma discorre que são necessários 5 avaliadores conhecedores da referida norma e com sensibilidade aferida. Quanto ao pavimento analisado, devem ser selecionados trechos homogêneos com extensão máxima de 2km. A avaliação não pode ocorrer em condições climáticas desfavoráveis como chuva ou neblina.

O VSA da via é obtido através da média aritmética entres as notas individuais de cada avaliador assinalada na ficha de avaliação anexada à norma. Salienta-se que os avaliadores não podem comunicar-se entre si, e que devem considerar principalmente os maiores defeitos como painelas e irregulares transversais e longitudinais definidas na norma DNIT 005/2003-PRO (DNIT, 2003b)

Nos Estados Unidos utiliza-se o Manual de Identificação de Defeitos desenvolvido *Federal Highway Administration* (FHWA) para caracterizar os defeitos semelhantemente à norma brasileira supracitada DNIT 005/2003-PRO (Machado, 2013).

O DNIT classifica valores de 0 a 1 como Péssimo, de 1 a 2 como Ruim, de 2 a 3 como Regular, de 3 a 4 como Bom e de 4 a 5 como “Ótimo” (DNIT, 2003a). Segundo Bernucci *et al.* (2008), a função do valor de serventia atual no tempo ou fluxo de tráfego se comporta na maneira apresentada pelo gráfico na figura 4.

Figura 4. Comportamento do VSA no tráfego ou tempo.



Fonte: Bernucci *et al.*, 2008.

Através do gráfico atesta-se que o VSA igual a 5 é inatingível mesmo em vias recém construídas e que o limite de aceitabilidade, onde abaixo deste o nível de conforto é inaceitável para os usuários, está entre 2 e 2,5 e depende da categoria da via e do tráfego. O limite de trafegabilidade se encontra no valor 1 e abaixo deste, a via é considerada intrafegável requerendo manutenções preventivas, corretivas ou ainda reconstruções de acordo com a gravidade e categoria da via (Bernucci *et al.*, 2008).

Na tabela 2 estão agrupados estudos realizados no Brasil analisando vias a partir da obtenção do VSA.

Tabela 2. Compilação de Estudos relacionados ao VSA

| Autor | Estudo | Método | Resultados |
|----------------|---|---------------------------|---|
| Feitosa (2022) | Avaliação funcional de Pavimento Flexível: Estudo de caso da CE-090 | Avaliação Subjetiva (VSA) | Alguns defeitos não são percebidos em outros métodos como são percebidos através do método de obtenção do VSA, mostrando sua importância. VSA=1,5 |
| Almeida (2022) | Avaliação Subjetiva Da Condição Do Pavimento Flexível De Subtrechos De Uma Via Da Cidade De Barreiras-Ba | Avaliação Subjetiva (VSA) | Aumento da temperatura ambiente e diminuição da umidade diminui o conforto dos usuários dentro do veículo. VSA=2,54 |
| Macedo (2022) | Estudo do Valor de Serventia Atual de Pavimento Flexível e do Envelhecimento do Ligante Asfáltico Removido: Trecho entre os municípios de Crateús e Independência (BR-226/CE) | Avaliação Subjetiva (VSA) | Alta incidência de radiação solar, manutenções não eficazes e alto fluxo de veículos resultam no valor de VSA encontrado. VSA=1 |

Fonte: Autora, 2023.

Os resultados apresentados na tabela 2 indicam que a avaliação subjetiva é afetada por fatores particulares em cada aplicação, como região e clima, temperatura, umidade e flutua no

próprio horário do dia em que é realizada a aplicação. Sendo este um ponto positivo por considerar fatores que não são considerados em outros métodos, no entanto um ponto desfavorável pois depende intensamente da criticidade dos avaliadores.

2.3.3. Avaliação objetiva

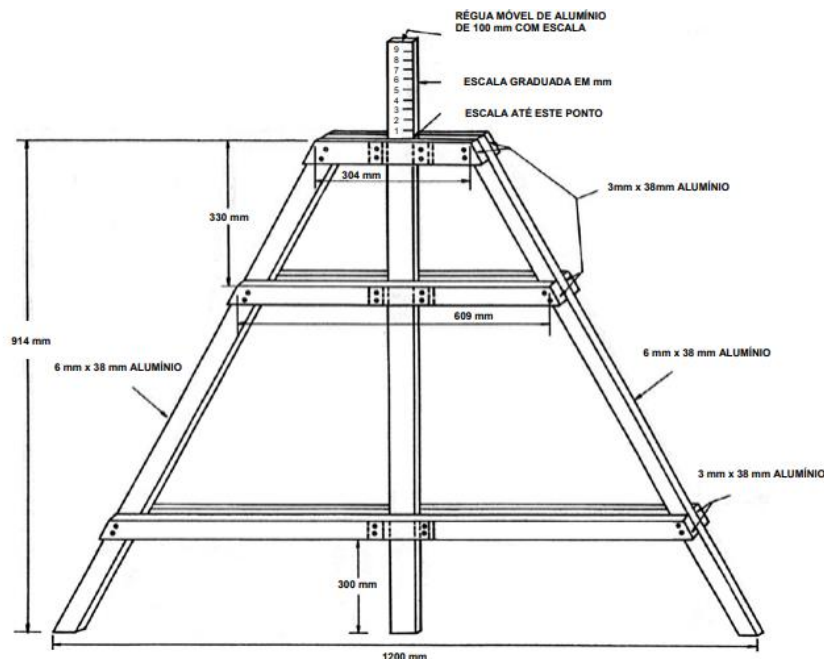
2.3.3.1. Índice de Gravidade Individual (IGI) e Índice de Gravidade Global (IGG)

O DNIT estabelece conceitos de degradação do pavimento com base em cálculos e frequências absolutas e relativas de defeitos descritos na norma DNIT 005/2003-PRO a fim de classificar o estado geral da via através de indicadores numéricos. Este modo de avaliação é denominado avaliação objetiva (Bernucci *et al.*, 2008) (DNIT, 2003b; DNIT, 2003c).

As avaliações objetivas normatizadas no Brasil são as análises que buscam obter o Índice de Gravidade Individual (IGI) e o Índice de Gravidade Global (IGG) e são descritas na norma DNIT 006/2003 PRO que traz as seguintes definições (DNIT, 2003c):

- Flecha da trilha de roda: é definida como a medida em milímetros do afundamento causado pela carga dos veículos no trilho das rodas. Esta deformação é medida tanto nas rodas internas (TRI) quanto nas rodas externas (TER) e é medida sob o centro de uma régua de 1,20m desenvolvida pela AASHTO e ilustrada na figura 5.

Figura 5. Treliça para medição da trilha da roda.



Fonte: DNIT, 2003b.

- Superfície de avaliação: Superfície delimitada pelas bordas da via de tráfego e por seções transversais a 3,00 antes e depois da estaca que demarca a estação considerada.

As superfícies de avaliação são localizadas a cada 20m alternados em cada direção em pistas simples e a cada 20m, em cada direção, na via de maior solicitação em pistas duplas.

Ademais na norma DNIT 005/2003 – TER é possível encontrar os tipos, definições e nomenclaturas para os afundamentos medidos, estas informações foram condensadas no quadro 1 abaixo.

Quadro 1. Classificação dos afundamentos no pavimento.

| | | | | |
|-------------|-----------------|-----------|--|-----|
| Afundamento | Plástico | Local | Devido à fluência plástica de uma ou mais camadas do pavimento ou subleito | ALP |
| | | da Trilha | Devido à fluência plástica de uma ou mais camadas do pavimento ou subleito | ATP |
| | De Consolidação | Local | Devido à consolidação diferencial ocorrente em camadas do pavimento ou do subleito | ALC |
| | | da Trilha | Devido à consolidação diferencial ocorrente em camadas do pavimento ou do subleito | ATC |

Fonte: Adaptado de DNIT, 2003a.

Quanto à execução, a norma discorre que a superfície de avaliação deve ser demarcada sobre pavimento com auxílio de pintura e com medidas específicas. após demarcadas iniciam-se as medições das flechas com a treliça ilustrada na figura 5, quanto tais medições a norma especifica que devem ser executadas nas trilhas de roda interna (TRI) e externa (TRE), adotando o maior valor medido em cada trilha (DNIT, 2003b), as medições não são feitas necessariamente no trilho da roda.

Em caso de obstáculo, tais como, painéis ou outros defeitos, no local onde deveria ser tomada a medida do afundamento da trilha da roda a norma permite o deslocamento da treliça. Os valores encontrados em milímetros devem ser anotados na tabela disponibilizada na norma (DNIT, 2003b).

O procedimento descrito segue com a construção do inventário de defeitos descritos na norma DNIT 005/2003 – TER – DNIT.

Bernucci *et al.* (2008) define defeitos no pavimento como as falhas e deteriorações que podem ser identificadas a olho nu e classificadas conforme terminologia normatizada, neste caso, a norma DNIT 005/2003 – TER – DNIT.

A construção do inventário se dá através de tabela disponibilizada em norma e é composta pela contagem da ocorrência dos defeitos por tipo, em seguida são realizados os cálculos envolvendo a frequência relativa, frequência absoluta e um fator de ponderação

normatizado para cada tipo de defeito, encontrando assim o Índice de gravidade individual (IGI).

Para as flechas medidas, devem ser calculadas as médias dos valores e a variância levando em consideração que para as rodovias de pista simples, a média e a variância das flechas medidas nas TRI e TRE são de ambas as faixas de tráfego. No caso de rodovias de pista dupla, a média e a variância das flechas medidas nas TRI e TRE serão das faixas de tráfego mais solicitadas de cada pista.

Após obtenção dos parâmetros descritos acima se calcula o Índice de Gravidade Global (IGG) dado pelo somatório dos Índices de Gravidade Individual para cada trecho homogêneo. A norma estabelece conceitos de degradação para possibilitar o entendimento do resultado. Estes estão listados na tabela 3 a seguir:

Tabela 3. Conceitos de degradação do pavimento em função do IGG.

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

Fonte: DNIT, 2003b.

A partir desse resultado alinhado a uma boa avaliação qualitativa é possível realizar intervenções para garantir a qualidade e segurança do pavimento analisado.

Segundo Bernucci *et al.* (2008), o valor do IGG é um dado complementar na avaliação da qualidade dos pavimentos, logo que um diagnóstico fidedigno dos defeitos, com observações globais, levando em consideração o cenário e as causas que precedem o surgimento das patologias são imprescindíveis para o correto projeto de manutenção ou restauração.

2.3.3.2. Índice de Regularidade Individual

Em DNER PRO 164/94 (1994) a irregularidade longitudinal em uma via é definida como “um desvio da superfície da rodovia, em relação a um plano de referência, que afeta a dinâmica dos veículos, a qualidade do rolamento e as cargas dinâmicas sobre a via”.

Barella (2008) com base na definição anterior chegou à conclusão que “a irregularidade longitudinal de um pavimento representa o conjunto dos desvios indesejáveis de sua superfície, que atrapalha o rolamento rápido e suave dos veículos, gera insegurança e onera seus usuários, além de acelerar a degradação do pavimento”.

Segundo Bernucci *et al.* (2008) tendo por objetivo mensurar a qualidade do pavimento, desde 1920 são criados equipamentos para medir a irregularidade das vias. Os primeiros equipamentos fabricados para este fim foram os perfilômetros. Para a primeira avaliação da irregularidade na pista da AASHO foi usado o equipamento AASHO *road test profilometer*. Para a avaliação mais abrangente das irregularidades, foi desenvolvido o perfilômetro CHLOE também empregado nas pistas da AASHO.

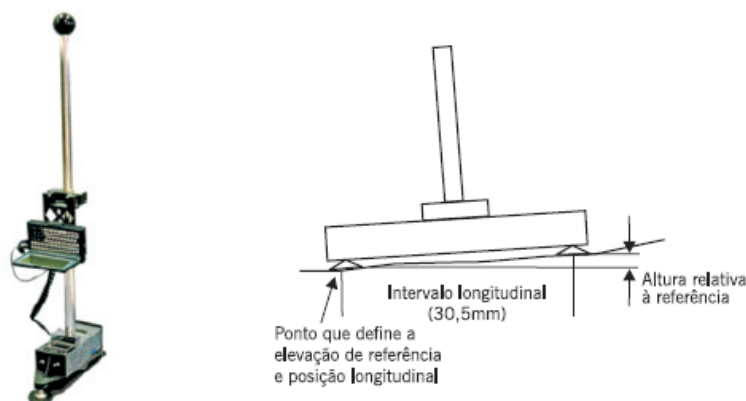
No Brasil a norma citada anteriormente, DNER PRO 164/94, elaborada pelo Departamento Nacional de Estradas de Rodagem fixa os procedimentos de operações preliminares, calibração e controle do sistema medidor (DNER, 1994b).

Bernucci *et al.* (2008) classifica o tipo de avaliação através da escolha do sistema medidor da irregularidade:

- Avaliação direta: onde são utilizados equipamentos classificados como de classe I (Ex.: nível e mira; Dipstick, perfilômetro do TRL) e classe II (Ex.: perfilógrafos, equipamentos com sensores a laser, APL francês).

Neste caso, as medidas dos afundamentos nas linhas imaginárias em comparação a superfície ideal são realizadas diretamente pelos equipamentos citados, na figura 6 é possível observar o equipamento e o esquema do Dipstick.

Figura 6. Dispositivo Dipstick e sistema de funcionamento.



Fonte: Bernucci *et al.*, 2008.

- Avaliação indireta: São utilizados equipamentos de classe III também conhecidos como tipo-resposta (Ex.: TRL Bump integrator, Maysmeter, Merlin)

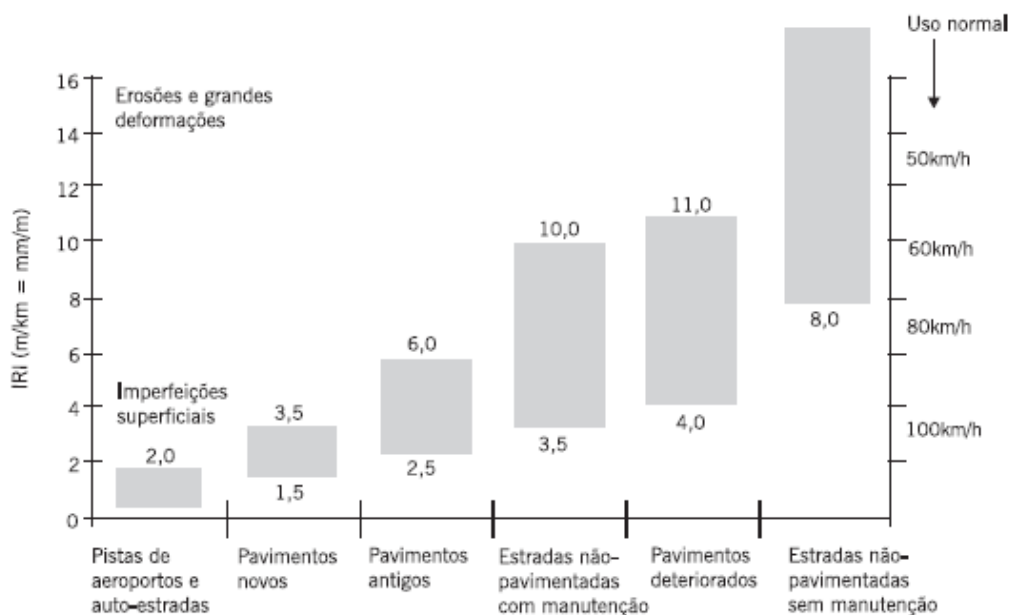
Equipamentos estes cujos resultados passam ainda por operações matemáticas a fim de obter o valor da irregularidade, pois geram um quociente de irregularidade que será relacionado ao Índice de Regularidade Individual através de fórmulas.

Um equipamento classe III foi desenvolvido no Brasil no Instituto de Pesquisas rodoviárias na Universidade de São Paulo IPR-USP, foi denominado Sistema Integrador IPR-

USP e seu esquema, calibração e controle estão descritos e fixados na norma DNER PRO 164/94 (DNER, 1994b).

A partir dos resultados obtidos compara-se com os limites indicados para cada uso da via. A saber Sayers e Karamihas (1998) condensaram tais faixas de aceitabilidade do IRI podem e podem ser observadas na figura 7 abaixo:

Figura 7. Faixas de variação do IRI.



Fonte: Sayers e Karamihas, 1998.

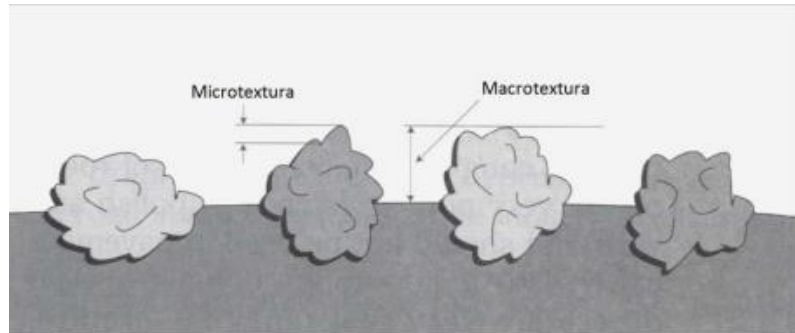
Segundo Bernucci *et al.* (2008) alguns autores classificam a avaliação por índice de serventia como sendo classe IV, o que evidencia a relação entre a irregularidade do pavimento e sua serventia demonstrando a importância de agrupar métodos de avaliação a fim de realizar uma análise representativa das vias.

2.3.3.3. Macrotextura e Microtextura

Duarte (2011) definiu a textura do pavimento como sendo a propriedade responsável por proporcionar as forças de atrito entre o pneu e o pavimento. A macrotextura e a microtextura são as texturas que mais influenciam na resistência a derrapagem e por este motivo seu estudo é fundamental.

Na figura 8 é possível observar a ilustração do pavimento com a microtextura e a macrotextura em evidencia.

Figura 8. Ilustração da macrotextura e microtextura.



Fonte: Duarte, 2011.

- **Macrotextura**

Caracterizada por ser a profundidade média entre as partículas de agregado graúdo. Influencia na drenagem da camada de revestimento do pavimento, também chamada de superficial (Duarte, 2011). Para PIARC (2003), um bom nível de macrotextura é igual ou superior a 0,8mm.

Para a medição da macrotextura usa-se perfilômetros a laser e mais usualmente o ensaio Mancha de Areia, que consiste em encontrar o diâmetro de espalhamento máximo de um volume de 24cm³ de areia uniforme contido em um cilindro. Após isso, calcula-se a área do círculo criado através do diâmetro medido da maneira apresentada na figura 9.

Figura 9. Ensaio de frasco de areia.



Fonte: Notas de aula de pavimentação, 2023.

Através do histórico de estudos deste ensaio observou-se que revestimentos mais porosos formavam um círculo de área menor, comportamento inverso aos ensaios realizados em revestimento menos porosos (Bernucci *et al.*, 2008).

Na tabela 4 encontram-se as classificações dos resultados encontrados para o valor da macrotextura utilizando o ensaio da mancha de areia.

O DNIT indica valores de macrotextura entre 0,6mm e 1,20mm para melhor drenagem e mitigação de riscos de derrapagem nas pistas rodoviárias (DNIT, 2006).

Tabela 4. Classificação da macrotextura.

| Profundidade média da mancha de areia - HS (mm) | Classificação |
|---|---------------------------------|
| $HS \leq 0,20$ | Muito fina ou muito fechada |
| $0,20 < HS \leq 0,40$ | Fina ou fechada |
| $0,40 < HS \leq 0,80$ | Média |
| $0,80 < HS \leq 1,20$ | Grosseira ou aberta |
| $HS > 1,20$ | Muito grosseira ou muito aberta |

Fonte: ABPv, 1999.

- **Microtextura**

Conforme Duarte (2011), a microtextura é definida como as irregularidades, não observável a olho nu, de cada partícula do agregado graúdo. Esta propriedade influencia na aderência do pneu com o pavimento em baixas velocidades e é conferida ao pavimento pela rugosidade do agregado. Ante ao exposto, faz-se necessário que o agregado utilizado tenha boa resistência ao desgaste, atestada pelo ensaio de abrasão Los Angeles.

A microtextura do pavimento pode ser medida através de método indireto com uso do equipamento denominado pêndulo britânico e a leitura dos resultados obtidos de Valor de Resistência à Derrapagem (VRD) pode ser comparada com os valores da tabela 5 a seguir (Bernucci *et al.*, 2008).

Tabela 5. Classificação da microtextura

| Classe | Valor de resistência à derrapagem |
|--------------------------|-----------------------------------|
| Perigosa | < 25 |
| Muito lisa | $25 \leq VRD \leq 31$ |
| Lisa | $32 \leq VRD \leq 39$ |
| Insuficientemente rugosa | $40 \leq VRD \leq 46$ |
| Medianamente rugosa | $47 \leq VRD \leq 54$ |
| Rugosa | $55 \leq VRD \leq 75$ |
| Muito rugosa | $VRD > 75$ |

Fonte: Adaptada de ABPv, 1999.

Ainda segundo Bernucci *et al.* (2008) autores da área recomendam o valor mínimo de 47 de VRD para garantir uma microtextura medianamente rugosa, e por conseguinte, segura ao tráfego.

Na tabela 6 foram agrupados estudos referentes a métodos de avaliação objetiva de pavimentos e seus respectivos resultados.

Tabela 6. Agrupamento de estudos focados em avaliações objetivas.

| Autor | Estudo | Método | Resultados |
|-----------------------------|---|---|---|
| Barella (2008) | Contribuição para Avaliação da Irregularidade Longitudinal de Pavimentos com Perfilômetros Inerciais. | Índice de Regularidade Individual | Uma nova correlação para o IRI e o QI. Conclui-se que na verdade deve se evitar correlações dos dois valores devido à alta dispersão. |
| Vieira <i>et al.</i> (2016) | Análise Comparativa de Metodologias de Avaliação de Pavimentos Através do IGG e PCI | Índice de Gravidade Global | O método IGG não considera a severidade dos defeitos. IGG=34,65. |
| Zanchetta (2017) | Sistema de Gerência de Pavimentos Urbanos: Avaliação de Campo, Modelo de Desempenho e Análise Econômica | Índice de Gravidade Global | O método IGG normalmente resulta em diagnósticos mais severos que outros métodos similares, isso pode se dar pois o IGG tem apenas 5 estágios de condição. |
| Vilas Boas (2017) | Avaliação Objetiva e Estrutural de Pavimento com Base Em Ensaio de Penetrômetro Dinâmico De Cone (DCP) – Aplicado Ao Trecho Do Anel Viário de Barreiras | Índice de Gravidade Global e DCP | O método de obtenção do IGG não considera severidade. Gerou conceito Regular e Ruim para os trechos estudados. |
| Santos (2017) | Levantamento das Condições de Rodovias do Oeste da Bahia: Avaliação da Superfície do Pavimento da Ba- 447 | Índice de Gravidade Global e Levantamento Visual Contínuo (LVC) | Resultados de Regular, Ruim e Péssimo em mais de 85% dos trechos nos dois métodos. Avaliação por IGG demonstrou resultados mais severos. |
| Gurgel (2019) | Avaliação de macrotextura e microtextura em pavimentos asfálticos - estudo de caso | Macrotextura e Microtextura | Os níveis de satisfação da macrotextura e microtextura em uma mesma via podem não ser iguais. Os valores insatisfatórios de textura se relacionam com a presença de defeitos. |

Fonte: Autora, 2024.

Com os resultados apresentados na tabela 6, infere-se que as avaliações objetivas, especificamente por obtenção de IGG, são consideradas mais severas e isso pode se dar devido a desconsideração da gravidade dos defeitos. De modo geral, estas avaliações estão intrinsecamente ligadas à existência de defeitos e não sofre perturbações externas advindas de temperatura e clima por exemplo. Destacam-se os estudos de Vilas Boas (2017) e Santos (2017) realizados no mesmo município do presente estudo, cujas características de pavimento se aproximam. Os dois estudos em resultados “Regular” ou “Péssimo” na avaliação objetiva, demonstrando uma tendência tanto do comportamento de severidade do método quanto do alto grau de degradação do pavimento.

2.3.4. Avaliação estrutural

Segundo Bernucci *et al.* (2008) a avaliação estrutural é um agrupamento de métodos diferente e está diretamente relacionada ao conceito de capacidade de carga. Os defeitos tratados em tais métodos são provenientes especialmente da repetição de cargas. Tais defeitos são vinculados às deformações, podendo assumir o comportamento de deformações elásticas ou recuperáveis e plásticas ou permanentes, cujas definições são:

Balbo (2007) define a avaliação estrutural como uma caracterização de elementos e variáveis estruturais dos pavimentos que possibilite uma descrição objetiva de seu comportamento em frentes às cargas aplicadas pelo tráfego e ações do ambiente como intempéries, possibilitando diagnóstico do pavimento na perspectiva estrutural e de novas solicitações de tráfego.

No Brasil, a DNER PRO 011/79 (1979) fixa os procedimentos para realização de análise estrutural dos pavimentos flexíveis. Apresenta que, de maneira prática, o resultado da análise é expresso pela medida de deflexões relacionadas às deformações elásticas ou recuperáveis e expõe que a experiência tem mostrado que os defeitos tratados na norma DNIT 005/2003 estão interligados com a magnitude das deflexões.

A fim de encontrar tais deflexões Bernucci *et al.* (2008) estabelece que a avaliação estrutural pode ser classificada como destrutiva, semidestrutiva e não-destrutiva:

- Ensaio destrutivo

Como a denominação sugere, os ensaios de caráter destrutivo investigam a condição do revestimento através da abertura de trincheiras ou poços de sondagem, para coleta de corpos de prova que posteriormente serão submetidos a ensaios de capacidade de carga.

Esta abordagem torna-se interessante logo que é possível identificar os materiais que compõe a cada camada e suas espessuras, ademais permite avaliar propriedades como o grau

de envelhecimento do ligante e granulometria dos agregados, na figura 10 há um corpo de prova retirado através de sonda rotativa.

Figura 10. Corpo de prova de revestimento asfáltico.



Fonte: Bernucci *et al.*, 2008.

Segundo a norma brasileira DNER PRO 269/94, os corpos de prova retirados do pavimento são submetidos a ensaios de carga a fim de encontrar o módulo resiliente de cada camada que compõe a estrutura, definido pela norma DNIT 181/2018 ME como relação entre maior tensão e deformação vertical recuperável ou resiliente (DNIT, 2018).

Para medição do módulo resiliente da camada granular, pode ser usado o ensaio triaxial dinâmico, onde o corpo de prova é submetido a uma tensão de compressão e uma tensão de confinamento. Após sucessivos carregamentos e descarregamento mede-se as deformações recuperáveis do obtendo assim o valor do módulo de resiliência que demonstra a capacidade do solo de voltar ao seu estado original após submetido aos carregamentos (Borges, 2001).

Para obtenção do módulo de misturas asfálticas são utilizados ensaios de compressão diametral dinâmico, ou de tração indireta. Os corpos-de-prova são cilíndricos e, no caso do ensaio destrutivo, extraídos diretamente da pista com sonda rotativa. A importância dos valores obtidos nestes ensaios se dá para constituição de referência em programas de análise de resultados obtidos em ensaios não destrutivos.

A problemática relacionada a este método está justamente na retirada do material do pavimento ocasionando o surgimento de um defeito no pavimento em estudo.

- Ensaios semidestrutivos

Análogo ao método anterior há a retirada de um corpo de prova, porém em dimensões menores, estas amostras são denominadas “janelas do pavimento”. Um exemplo de equipamento utilizado nesta abordagem é o cone dinâmico de penetração (DCP), caracterizado por causar perturbações menores na estrutura se comparado à ensaios destrutivos (Claus e Ferreira, 2014)

Este ensaio é normalmente utilizado para verificação de compactação das camadas, e segundo Zumrawi (2014) é uma alternativa ao ensaio de Índice de Suporte Califórnia (ISC ou *California bearing ratio-CBR*) que caracteriza o solo, no entanto sendo o DCP uma opção com resultados satisfatórios comprovados, com maior velocidade de execução e menores custos (Aguiar *et al.*, 2011).

- Ensaios não-destrutivos

Segundo Bernucci *et al.* (2008) esta abordagem é a mais adequada para avaliação de grandes extensões, além de possibilitar repetição no mesmo ponto e assim verificar a capacidade de carga do pavimento ao decorrer do tempo. Para tal se faz uso das medidas de deflexão do pavimento obtidas através de aparelhos denominados deflectômetros.

A deflexão demonstra ainda diferentes comportamentos a depender da fase que se encontra o pavimento, tais fases são definidas na norma DNER PRO 10/79 (DNER, 1979):

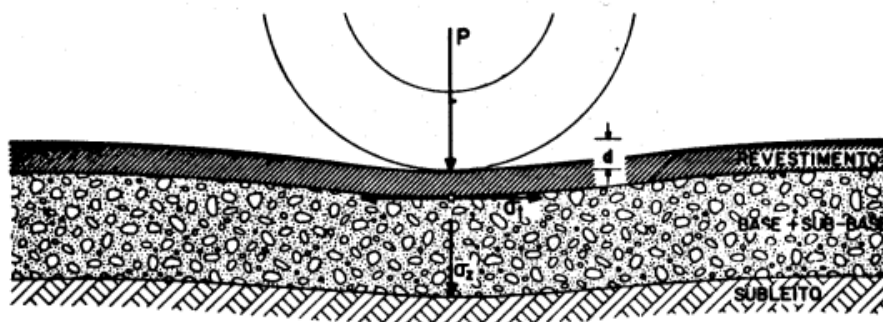
Fase de consolidação: Fase imediatamente posterior à construção da via e decorre da consolidação adicional proporcionada pelo tráfego. Observou-se que os valores de deflexão tendem a estabilizar ao fim desta fase.

Fase elástica: Fase definida pela vida útil do pavimento onde a deflexão se mantém aproximadamente constante.

Fase da fadiga: Sucede a fase elástica. Fase onde a deflexão no pavimento tem comportamento acelerado e conseqüentemente é o ponto no tempo onde os defeitos como trincas e fissuras começam a surgir, caso não sejam tomadas medidas de recuperação. Pavimentos flexíveis bem projetados e executados terão uma fase elástica mais longa.

A figura 11 ilustra o comportamento de um pavimento flexível sob ação de uma carga P , como discutido anteriormente na seção “O pavimento”, a deformação elástica sofrida reverbera em todas as camadas do pavimento. A deflexão é identificada por “ d ”. (DNER, 1979).

Figura 11. Comportamento do pavimento flexível.



Fonte: DNER, 1979.

Para que não haja rompimento do revestimento por fadiga, o valor de d deve se manter abaixo de um valor máximo, e esta condição é atendida quando a espessura do pavimento seja dimensionada em função do CBR do subleito (DNER, 1979), quando esta condição não é atendida faz-se avaliação estrutural do pavimento através da determinação da deflexão recuperável do pavimento.

Tal determinação se dá por três modo de carregamento: quase estático, vibratório e por impacto. No Brasil cada carregamento corresponde aos equipamentos viga Benkelman, dynaflect e equipamento de peso batente (*Falling weight defletometer – FWD*) respectivamente (Bernucci *et al.*, 2008).

Na tabela 7 a seguir estão apresentados estudos de pavimentos utilizando a avaliação estrutural.

Tabela 7. Estudos relacionados à avaliação estrutural de pavimentos.

| Autor | Estudo | Método | Resultados |
|-------------------------------------|---|----------------------|--|
| Borges (2001) | Estudo Comparativo Entre Medidas de Deflexão com Viga Benkelman e Fwd Em Pavimentos Da Malha Rodoviária Estadual De Santa Catarina. | Viga Benkelman e FDW | Constatação da dificuldade de correlacionar os dois métodos. Viga Benkelman apresentou dispersão maior de dados. |
| Pandolfo, Echeverria, Specht (2016) | Análise mecanística de um pavimento flexível restaurado a partir do MR obtido em diferentes softwares de retroanálise com dados de viga Benkelman. | Viga Benkelman | É possível alimentar softwares recentes com dados obtidos através de viga Benkelman comprovando sua confiabilidade. |
| Balarezo-Zapata (2017) | Evaluación Estructural Usando Viga Benkelman Aplicada A Un Pavimento. | Viga Benkelman | A determinação de deflexões por viga Benkelman deve ser usada para quantificar a necessidade de manutenção em pavimento deteriorados. |
| Bueno <i>et al.</i> (2022) | Correlações Entre Bacias Deflectométricas Determinadas A Partir Da Viga Benkelman E Falling Weight Deflectometer : Estudo De Caso Em Dois Trechos Monitorados Em Santa Maria / Rs | Viga Benkelman e FDW | Não é possível uma correlação aplicável a todos os casos entre Viga Benkelman e FWD. Deflexões encontradas através de Viga Benkelman são majoritariamente maiores que encontradas com FWD. |

Fonte: Autora, 2023.

Semelhantemente aos demais estudos apresentados referentes aos outros métodos de avaliação abordados nesta seção, os estudos relacionados à avaliação estrutural sugerem a comparação e colaboração entre métodos. Frente ao exposto serão detalhados no próximo capítulo procedimentos e metodologias de obtenção do diagnóstico em que se encontram trechos do pavimento estudado através da avaliação objetiva do pavimento.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

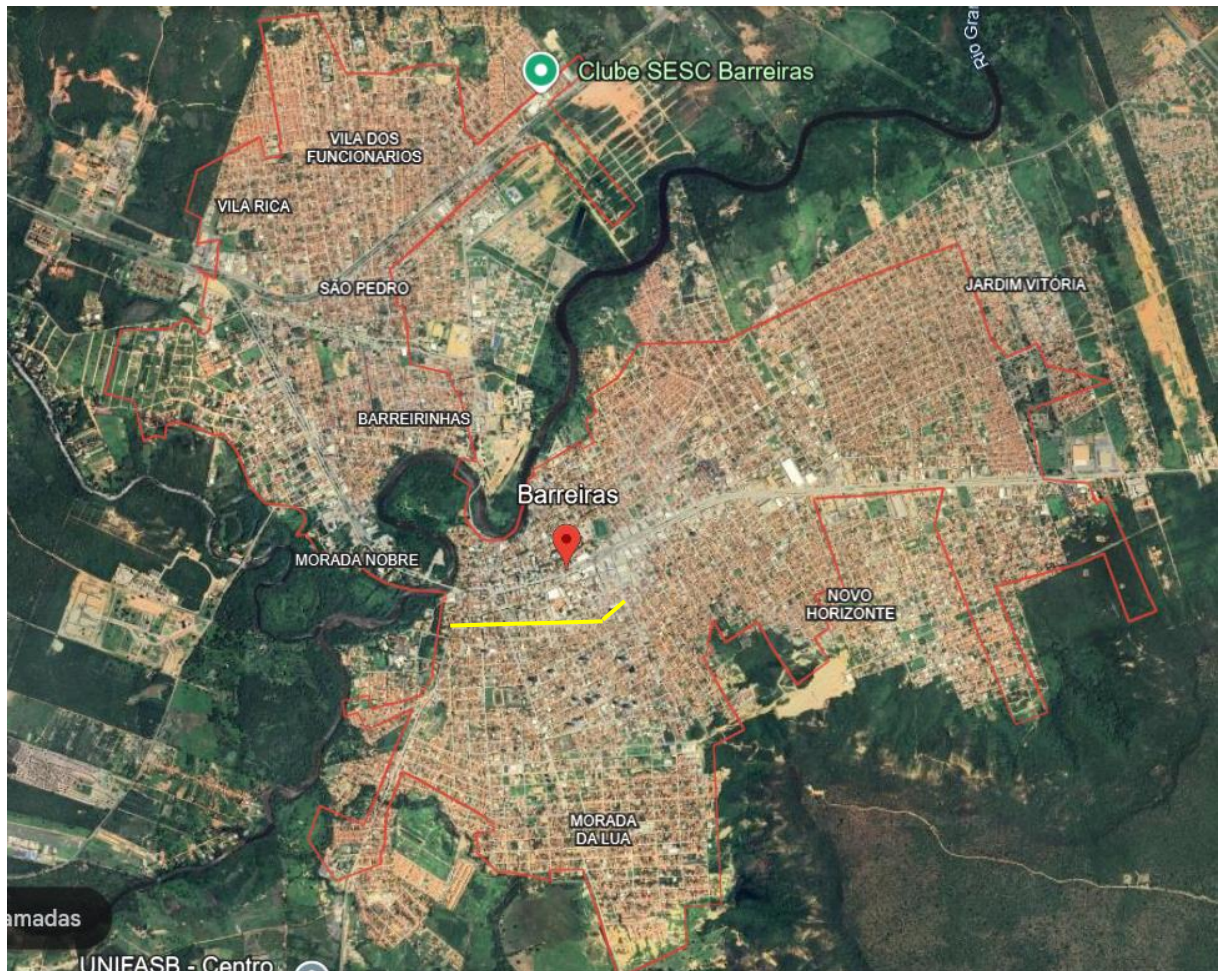
Este capítulo aborda os procedimentos a serem executados com base nas normas vigentes e no referencial teórico apresentado no capítulo anterior, para objetivar a análise do ponto de vista estrutural e objetivo da via em estudo.

3.2. Local de estudo.

A via de estudo se localiza na cidade de Barreiras, no estado da Bahia. Segundo o Censo 2022, o município de Barreiras conta com aproximadamente 159.734 habitantes, e é citada comumente como capital do Oeste da Bahia. Ainda segundo o IBGE (2020), Barreiras figura a oitava posição entre os maiores PIBs da Bahia, com mais de R\$6 bilhões, no cenário agropecuário, o PIB da cidade aparece em terceira posição na Bahia, sendo um grande polo agropecuário no estado (IBGE, 2020).

Na figura 12 está destacada a região urbana do município de Barreiras retirada do site Google Earth, salienta-se que o município é cortado por 3 BR's: BR 242, que dá acesso a capital Salvador, BR 020, com sentido Brasília e BR 135, sentido ao estado de Minas Gerais. Além das vias estaduais: BA 455 e BA 447. Na figura 12 está estacada ainda a via objeto de estudo deste trabalho: Rua Capitão Manoel Miranda.

Figura 12. Área urbana de Barreiras-BA.



Fonte: Google Maps, 2023.

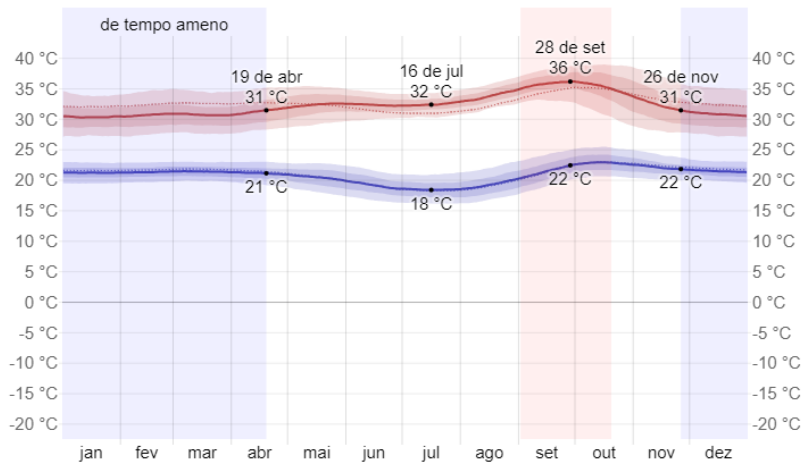
3.2.1. Clima

A cidade de Barreiras-BA, como boa parte do país, está inserida na região climática denominada Tropical Brasil Central (IBGE, 2002). Sendo caracterizada por apresentar um clima semiárido, cujo comportamento climático varia entre sub-úmido e úmido e entre seco a sub-úmido. Caracteriza-se ainda com duas estações bem divididas: verão úmido e quente e inverno seco e frio (Santos *et al.*, 2007).

Segundo Weatherspark (2023) em Barreiras o clima é quente durante o ano todo com variação de temperatura aproximada de 18°C a 36°C, raramente a temperatura na cidade é inferior que 16°C ou superior a 39°C.

Na figura 13 é possível observar os valores médios de temperatura durante o ano, bem como mínimos e máximos, é importante ressaltar que a cidade de Barreiras atinge temperaturas altas mesmo nos meses que marcam as menores temperaturas.

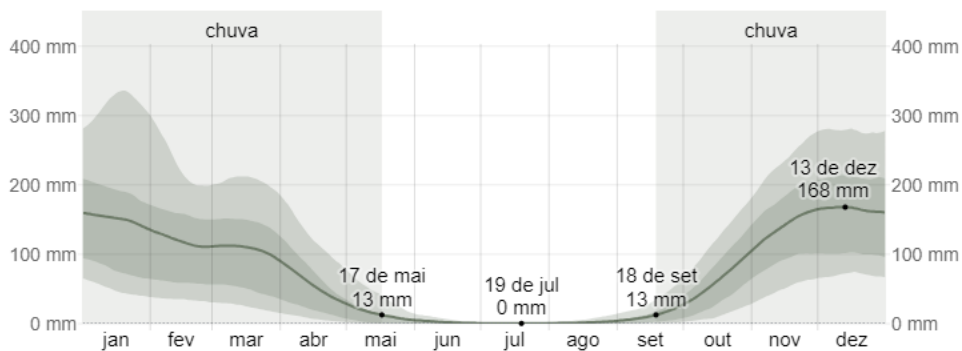
Figura 13. Variação de temperatura em Barreiras-BA.



Fonte: Weatherspark, 2024.

Na figura 14 se encontram os dados da precipitação média mensal em mm na cidade de Barreiras.

Figura 14. Precipitação mensal média em Barreiras-BA.



Fonte: Weatherspark, 2024.

Através da série histórica constatou-se que os meses chuvosos em Barreiras compreendem de meados de outubro a meados de abril, enquanto o tempo seco compreende os meses restantes.

Tais dados são importantes haja vista que o pavimento reage às altas temperaturas devido ao acúmulo de energia fazendo com que o asfalto perca a rigidez (Bernucci *et al.*, 2022). Ainda segundo Bernucci *et al.* (2022) o superaquecimento faz com que os materiais expandam e rachem. Ademais, segundo a CNT (2018) a piora nas propriedades dos materiais que compõem o pavimento está associada às condições climáticas onde este está inserido, o que provoca os principais defeitos encontrados nos pavimentos flexíveis.

Balbo (2007) discorre que as flutuações diárias e sazonais do clima implicam tanto em alterações momentâneas na resposta estrutural do pavimento quanto na degradação mais rápida da estrutura do pavimento.

3.3. Via de estudo

A via em questão escolhida para estudo é denominada Rua Capitão Manoel Miranda. Está localizada no centro da cidade e foi destacada no mapa da figura 15.

Figura 15. Destaque da rua Capitão Manoel Miranda.



Fonte: Adaptado de Google Earth, 2024.

É considerada uma via importante da cidade onde se localizam o corpo de bombeiros, clínicas, mercados e academia. Por ela é possível ter acesso à BR 135 e à BA 455 além de ser próxima à BR 242. É considerada uma via arterial, pois o tráfego é ordenado por semáforos e por dar acesso a vias coletoras e locais.

A escolha da via se deu por sua importância, sua alta requisição na cidade além de ser alvo do estudo realizado por Almeida (2022) avaliando o pavimento da concepção subjetiva através da obtenção do valor VSA, além da construção de escala visual da via e catalogação de patologias.

Com objetivo de que os resultados obtidos por Almeida (2022) sejam comparados ao obtidos no presente trabalho foram realizados procedimentos para obtenção do IGG da via objetivando avaliação objetiva.

3.4. Obtenção do Índice de Gravidade Global (IGG)

Como apresentado de maneira no tópico 2.3.3.1 deste trabalho a determinação do IGG no Brasil é feita a partir do procedimento descrito na norma DNIT 006/2003 PRO (DNIT, 2003a).

O procedimento foi realizado em 18 de agosto de 2024 das 18:00 às 02:00. Optou-se por realizar neste horário devido ao movimento de veículos consideravelmente reduzido, o que possibilitou a medição das flechas das trilhas da roda e registros dos defeitos.

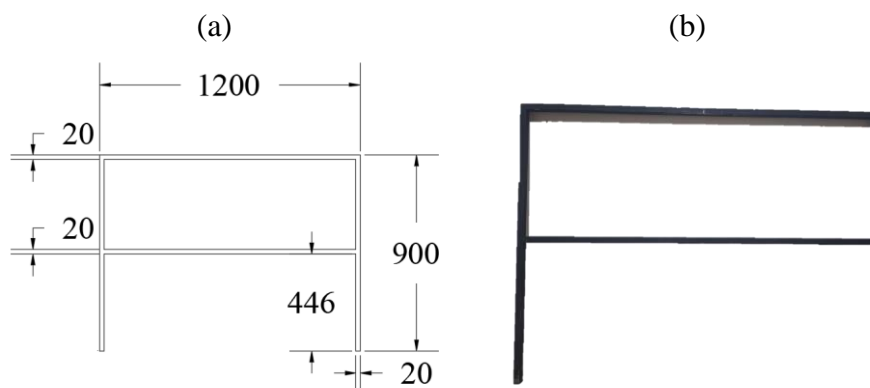
1. Materiais empregados na realização do ensaio.

A aparelhagem listada na norma envolve a treliça de alumínio padronizada, materiais auxiliares, como giz para marcação das estações, trena com no mínimo 20m e os formulários

disponibilizados. Neste trabalho, haja vista a indisponibilidade da treliça como descrita em norma foi projetado e produzido um instrumento em metalão com medidas próximas às da treliça proposta na norma, a fim de se obter a medida das flechas de trilha da roda.

As medidas deste instrumento está presente na figura 16 (a) e imagem do instrumento pronto na figura 16 (b).

Figura 16. Instrumento utilizado para medição das flechas. Medidas em mm.



Fonte: Autora, 2024.

Foi utilizada para as medições da flecha uma trena a laser (figura 17 (a)) com precisão de 1mm conforme precisão da treliça descrita na norma DNIT 006/2003 (2003a), e uma trena comum de 30m, apresentada na figura 17 (b).

Figura 17. Instrumentos de medição utilizados.



Fonte: Autora, 2024.

2. Estaqueamento para a realização do ensaio.

Com auxílio da trena apresentada na figura 17 (b) as estações foram demarcadas a cada 40m no mesmo bordo (a cada 20m alternados) com um traço transversal indicando o número da estaca feito com giz. Foram pintados mais dois traços, um 3,00m avante e outro 3,00m à ré do traço inicial para demarcar a superfície de avaliação. O estaqueamento foi iniciado no ponto vermelho da figura 18 com a estaca 0, após 20m a mesmo bordo foi demarcada a estaca 1 e seguiu-se o estaqueamento conforme normatizado.

Na figura 18, com auxílio do site Google Maps é possível observar a medida total da via de estudo de 1,29km.

Figura 18. Medida da via de estudo.



Fonte: Google Maps, 2024.

Realizando o estaqueamento a cada 20 metros alternados entre as duas mãos obteve-se 64 estacas e por conseguinte 64 superfícies de avaliação, como a apresentada na figura 19 a seguir.

Figura 19. Superfície de avaliação da estaca 60.



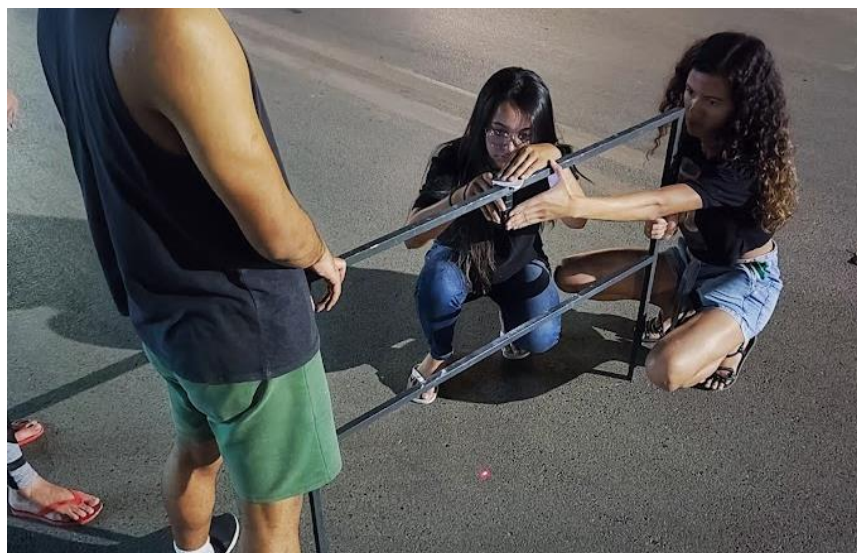
Fonte: Autora, 2024.

A partir da norma foram seguidos os seguintes passos. (DNIT, 2003b).

3. Medida das flechas em cada estaca.

Nas estacas demarcadas foram medidas as flechas com auxílio do instrumento presente na figura 16 (b). A demonstração da medição pode ser observada na figura 20.

Figura 20. Medição da trilha da roda externa.



Fonte: Autora, 2024.

As medidas conforme procedimento observado na figura 20 foram executadas na trilha externa da roda (TRE) e trilha interna da roda (TRI) anotando-se os valores na planilha disponibilizada no Anexo B da norma DNIT 006/2003 (DNIT, 2003a). A planilha preenchida com os valores deste estudo estão presentes no Apêndice A deste trabalho.

4. Inventário de defeitos

Em cada área demarcada foi anotada a presença dos defeitos na planilha disponibilizada no anexo B da norma que rege a avaliação no pavimento. Para análise de resultados foram consideradas as seguintes ressalvas:

- Todas as trincas isoladas: fissuras (FI); trinca transversal curta (TTC); trinca transversal longa (TTL); trinca longitudinal curta (TLC); trinca longitudinal longa (TLL) e trinca de retração (TRR), cujas descrições estão na norma citada acima, são classificadas como Tipo 1.
- Os Remendos Superficiais e Remendos Profundos serão anotados como Remendos - R.

Para identificação dos defeitos foi utilizada a norma DNIT 005/2003 TER com as definições e codificações das fendas/fissuras e definição e codificação dos demais defeitos existentes, para tal utilizou-se o anexo B (DNIT, 2003b).

A norma DNIT 005/2003 TER traz imagens dos defeitos citados a fim de facilitar a identificação dos mesmos no anexo C (DNIT, 2003b).

Para obtenção do IGG, a norma classifica estes defeitos em tipos, onde:

Tipo 1 - Trincas Isoladas (FI, TTC, TTL, TLC, TLL e TRR);

Tipo 2 - FC-2 (J e TB);

Tipo 3 - FC-3 (JE e TBE);

Tipo 4 - ALP e ATP;

Tipo 5 - O e P;

Tipo 6 - EX;

Tipo 7 - D;

Tipo 8 - R.

5. Cálculos

Após obtenção dos dados de flecha e da quantificação dos defeitos a avaliação seguiu para realização dos cálculos a seguir.

$$f_r = \frac{f_a \cdot 100}{n} \quad \text{Eq.1}$$

Onde:

f_r = Frequência relativa;

f_a = Frequência absoluta dada pelo número de vezes em que a ocorrência foi verificada;

n = Número de estações inventariadas.

Para as flechas, considerando que se trata de uma pista simples, calculou-se a média (\bar{x}) e a variância (s^2) das flechas medidas na TRE e TRI:

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} \quad \text{Eq.2}$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad \text{Eq.3}$$

Onde:

\bar{x} = Média aritmética dos valores das flexas medidas (TRI e TRE);

x_i = Valores individuais;

s = Desvio padrão das flechas medidas (TRE e TRI);

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Inventário de ocorrências.

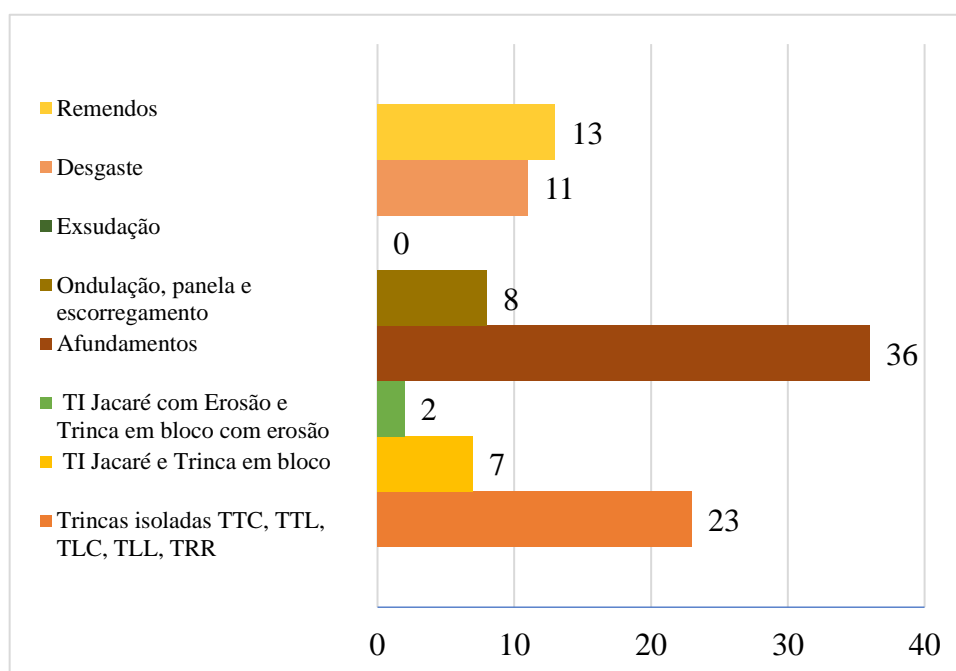
Através do estaqueamento e análise das superfícies de avaliação demarcadas conforme apresentado na seção 3 de materiais e métodos, foi realizado o inventário de ocorrências de defeitos com auxílio da planilha presente no Anexo B da norma DNIT 006/2003 – PRO (DNIT,2003). Sendo as planilhas preenchidas em campo apresentadas no apêndice A.

Com elas foi realizada a contagem das frequências absolutas das ocorrências de defeitos, sendo estas definidas como a quantidade de superfícies de avaliação em que cada defeito ocorreu.

Analisando os resultados observa-se que foi constatada presença de todos os tipos de defeitos dentre os 8 classificados na norma DNIT 006/2003 – PRO (DNIT, 2003) exceto exsudação.

Através da planilha de inventário do estado da superfície do pavimento foi possível obter a quantidade de cada defeito, sendo este dado apresentado graficamente na figura 22.

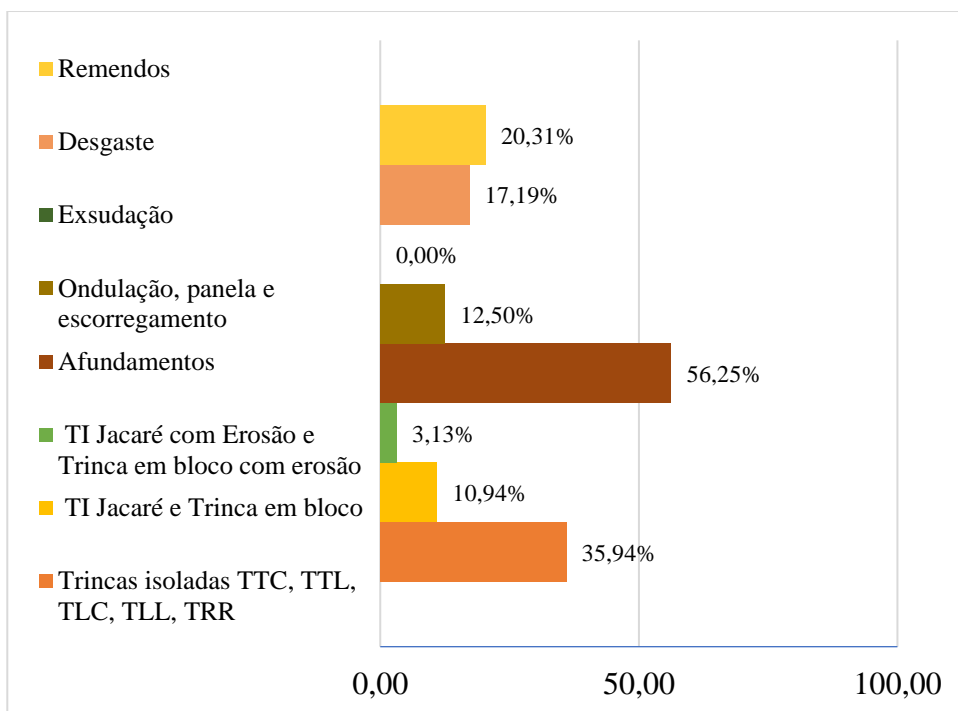
Figura 22. Gráfico acerca da frequência absoluta dos defeitos na via completa.



Fonte: Autora, 2024.

Considerando o disposto na norma DNIT 006/2003 – PRO (DNIT, 2003) e transformando tais dados em frequência relativa de defeitos utilizando a equação Eq. 3, obteve-se como resultado a figura 23.

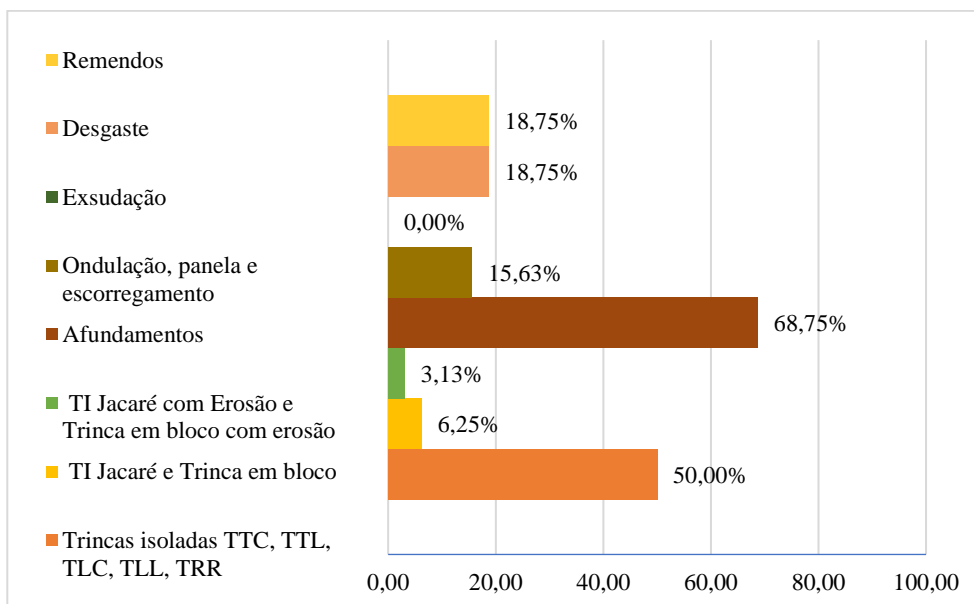
Figura 23. Gráfico acerca da frequência relativa dos defeitos na via completa.



Fonte: Autora, 2024.

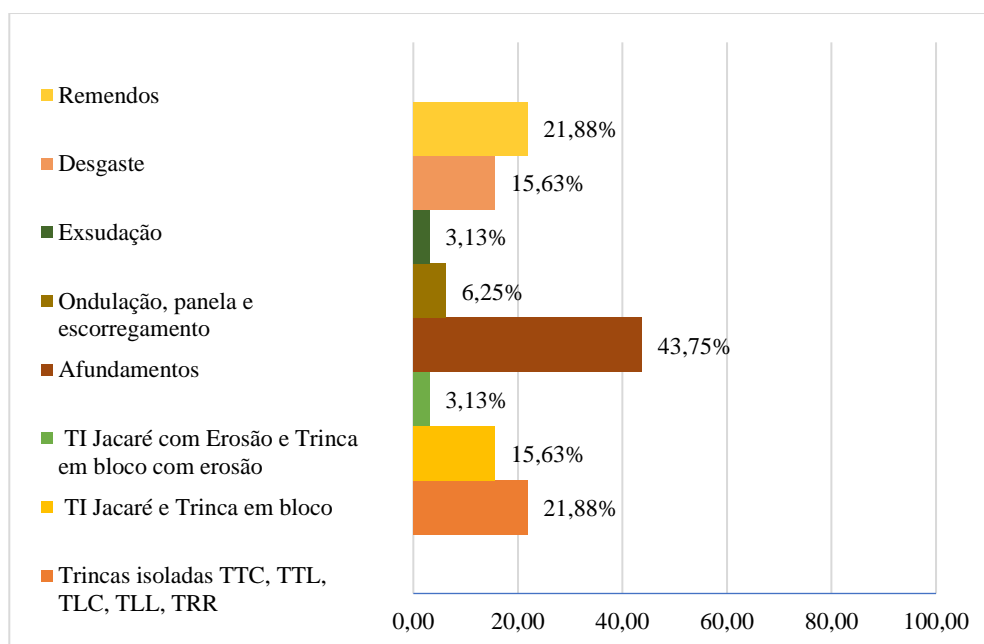
Conforme apresentado anteriormente na seção 3, os dados foram analisados divididos em dois trechos: T-1 e T-2. Os dados referentes à frequência relativa em T-1 e T-2 estão apresentados graficamente nas figuras 24 e 25 respectivamente.

Figura 24. Gráfico da frequência relativa de defeitos no trecho 1.



Fonte: Autora, 2024.

Figura 25. Gráfico da frequência relativa de defeitos no trecho 2.



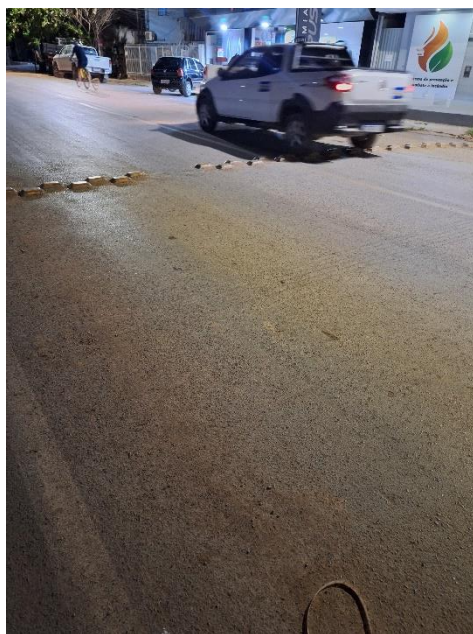
Fonte: Autora, 2024.

Seguindo a mesma tendência apresentada na análise da via completa, os dois trechos retrataram maior ocorrência de afundamentos, trincas e remendos respectivamente, com destaque para desgaste em T-1. Ademais, há ocorrências significativamente maiores de defeitos em T-1 o que indica uma qualidade menor com relação ao trecho subsequente.

Os defeitos mais observados no trecho foram os afundamentos, conforme a norma, todos os defeitos de afundamento são considerados igualmente como tipo 4 com ocorrência em 56,25% das superfícies de avaliação, no entanto salienta-se que o defeito de afundamento mais observado foi o ATC, sendo possível observá-lo nas figuras 26 (a) e (b) a seguir.

Figura 26. ATC na estaca 24 (a). ATC com trinca longitudinal longa na estaca 16 (b).

(a)



(b)






Fonte: Autora, 2024.

Conforme descrito por Machado (2013) esta deformação acompanha o trajeto percorrido pelas rodas e ocorre devido a densificação dos materiais e/ou ruptura por cisalhamento de alguma camada. Pode se dar a partir de dimensionamento, dosagem e/ou compactação inadequados, ou ainda falha na drenagem o que causa posterior consolidação por ação do tráfego.

Ressalta-se que os afundamentos consolidados de trilha da roda ocorridos, indicam problema na estrutura da via, sendo estes atrelados comumente à erro de compactação das camadas abaixo do revestimento, seja na base, sub-base ou subleito. Para este caso, o pavimento necessita de recapeamento ou ainda reestabilização da base do pavimento. É importante salientar que em caso de necessidade de reforço estrutural faz-se necessário o cálculo do novo número N da via (Cichinelli, 2015).

Além deste, nota-se predominância nas ocorrências das trincas classificadas como tipo 1, com ocorrência em 35,94% das superfícies de avaliação. No quadro 1 estão presentes fotografias de trincas classificadas como tipo 1 encontradas na via estudada.

Quadro 1. Trincas capturadas na via e suas descrições.

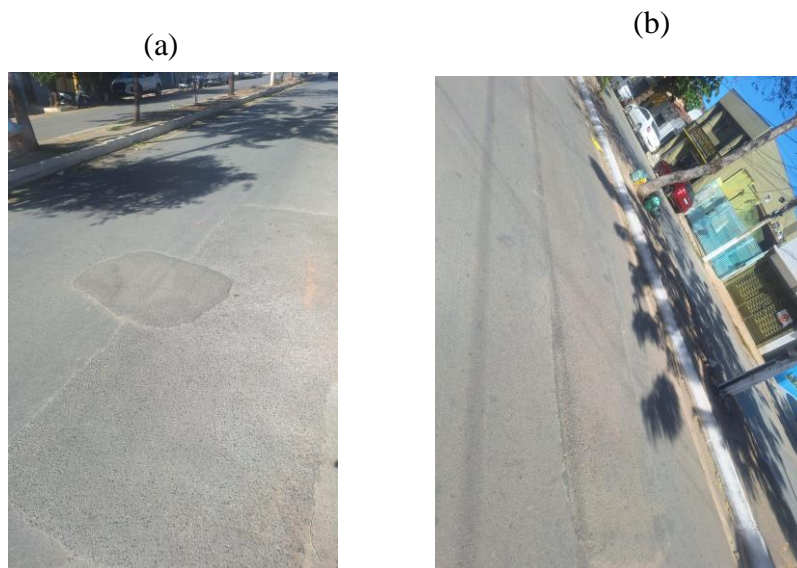
| | | | |
|---|--|--|--|
| <p>Trinca longitudinal longa localizada na superfície de avaliação da estaca 11.</p> | |  | |
| <p>Trinca transversal curta localizada na superfície de avaliação da estaca 12.</p> | |  | |
| <p>Trinca longitudinais e transversais localizada na superfície de avaliação da estaca 2.</p> | |  | |

Fonte: Autora, 2024.

Cada tipo de trinca ocorre por diferentes causas, segundo Machado (2013), trincas longitudinais fora da trilha da roda, como o caso apresentado no quadro, a causa provável é a compactação inadequada ou efetuada de maneira desigual entre cada uma das faixas. Trincas transversais podem ocorrer devido às contrações térmicas do revestimento ou ainda infiltração de água nas camadas inferiores do pavimento.

Ademais, o terceiro defeito mais detectado na via ocorrendo em 29,69% das superfícies de avaliação foram os remendos rasos e profundos, que para fins desta avaliação são considerados apenas como remendos. Nas figuras 27 (a) e (b) estão apresentados remendos encontrados na via estudada.

Figura 27. Remendos presentes na estaca 15 (a). Remendo presente na estaca 14 (b).



Fonte: Autora, 2024.

O remendo é a tentativa de solucionar um defeito, porém devido à descontinuidade na pista de rolamento causada, o remendo é considerado um defeito perante a norma DNIT 005/2003 (DNIT, 2003). Segundo Machado (2013) a frequência de remendos, como é possível observar na figura 4 (a), haja vista a existência de um remendo sob o outro, indica que o problema não foi solucionado, sendo este um indicativo de necessidade de reparos na estrutura do pavimento.

Para melhor análise dos dados levando em consideração a pesquisa já realizada na via através de obtenção do VSA por Almeida (2022), foi realizada a divisão dos resultados em dois trechos, sendo as primeiras 32 estacas correspondentes ao Trecho-1 (T-1) e as últimas 32 estacas correspondentes ao Trecho-2 (T-2).

4.2. Medidas das flechas.

Na planilha de ocorrência de defeitos do Apêndice A é apresentada também a medida das trilhas da roda interna e externa.

Sendo estas medidas realizadas na parte superior do instrumento contabilizando assim a si mesmo, por este motivo foi subtraído de todos os valores 900mm, sendo esta a altura do instrumento em seu ponto central, obtendo assim os valores de afundamento da trilha da roda na via em milímetros.

Dada a existência de valores negativos nas medições ocasionados por defeitos ou ainda projeto relacionado à drenagem da via, onde o eixo da via se encontra em cota superior às extremidades a fim de possibilitar a movimentação da água por gravidade, os valores negativos

foram assumidos como 0. Sendo esta consideração corroborada pelo fato de ser objetivada a medição da flecha da trilha da roda causada pela carga dos veículos (Machado, 2013).

A planilha com correção dos valores de flecha da trilha da roda estão presentes no Apêndice B deste trabalho e através delas foram calculadas às médias aritméticas da trilha da roda interna (TRI) e trilha da roda externa (TRE). Obtendo para toda a via os valores presentes na tabela 9 a seguir e seu respectivo Índice de Gravidade Individual (IGI).

Tabela 8. Valores calculados para as flechas das trilhas da roda para a via.

| | | | |
|---|------------------|------------------|------------|
| Média aritmética dos valores médios das flechas medidas em mm nas TRI e TRE | TRE (mm) | TRI (mm) | IGI |
| | 2,59 | 0,84 | 2,29 |
| Média aritmética das variâncias das flechas medidas em ambas as trilhas | TREv (mm) | TRIV (mm) | IGI |
| | 9,15 | 2,13 | 5,64 |

Fonte: Autora, 2024.

Sendo a média das médias majorada em 4/3, em cumprimento ao disposto na norma DNIT 006/2003 – PRO (DNIT, 2003a), devido ao valor encontrado de média ser inferior à 40mm. Vale salientar que os valores máximos encontrados são de 12mm (Valores apresentados no apêndice B),.

Analisando os trechos T-1 e T-2 separadamente obteve-se a tabela 9 e 10 respectivamente com tratamento dos valores análogo ao anterior. Tabela 9. Valores calculados para as flechas das trilhas da roda para o T-1.

| | | | |
|---|------------------|------------------|------------|
| Média aritmética dos valores médios das flechas medidas em mm nas TRI e TRE | TRE (mm) | TRI (mm) | IGI |
| | 2,03 | 0,91 | 1,96 |
| Média aritmética das variâncias das flechas medidas em ambas as trilhas | TREv (mm) | TRIV (mm) | IGI |
| | 5,66 | 2,15 | 3,90 |

Fonte: Autora, 2024.

Tabela 10. Valores calculados para as flechas das trilhas da roda para o T-2.

| | | | |
|---|------------------|------------------|------------|
| Média aritmética dos valores médios das flechas medidas em mm nas TRI e TRE | TRE (mm) | TRI (mm) | IGI |
| | 3,16 | 0,78 | 2,63 |
| Média aritmética das variâncias das flechas medidas em ambas as trilhas | TREv (mm) | TRIV (mm) | IGI |
| | 12,01 | 2,11 | 7,06 |

Fonte: Autora, 2024.

Observa-se no comparativo entre os dois trechos que, o trecho T-2 teve valores maiores de flecha, o que indica que a pista de rolamento pode estar submetida a cargas maiores para qual foi planejada, ou ainda que houve alguma inadequação construtiva (Machado, 2013).

Tanto em T-1 como em T-2 os valores médios da flecha em TRE são maiores que os valores de flecha em TRI. Este fenômeno pode estar relacionado ao formato da seção transversal da rua devido ao projeto de drenagem. Sendo o eixo da via localizado em cota superior às extremidades, infere-se que a distribuição de carga dos veículos é desigual, solicitando mais da trilha da roda externa do rolamento.

4.3. Planilha de cálculo do índice de Gravidade Global (IGG).

Através dos valores de flecha da trilha da roda e das frequências relativas dos defeitos, considerando o valor de ponderação apresentado na seção 3, obteve-se os resultados apresentados sintetizados na tabela 11 conforme planilha de cálculo disponibilizada na norma DNIT 006/2003 – PRO.

Tabela 11. Resultado de IGG da via Rua Capitão Manoel Miranda.

| RODOVIA: PLANILHA DE CÁLCULO DO ÍNDICE DE GRAVIDADE | | | | | | Data: 18/08/2024 |
|---|---|---------------------|---------------------------------|---------------------|---------------------|--------------------------------|
| GLOBAL (IGG) TRECHO: SUB-TRECHO: Trecho total | | | REVESTIMENTO TIPO: CBUQ | | | |
| Item | Natureza do defeito | Frequência absoluta | Frequência absoluta considerada | Frequência relativa | Fator de ponderação | Índice de gravidade individual |
| 1 | Trincas isoladas FI, TTC, TTL, TLC, TLL, TRR | 32 | 23 | 35,94 | 0,2 | 7,19 |
| 2 | (FC – 2) J, TB | 7 | 7 | 10,94 | 0,5 | 5,47 |
| 3 | (FC – 3) JE, TBE | 2 | 2 | 3,13 | 0,8 | 2,50 |
| 4 | ALP, ATP, ALC, ATC | 36 | X | 56,25 | 0,9 | 50,62 |
| 5 | O, P, E | 13 | X | 20,31 | 1,0 | 20,31 |
| 6 | EX | 0 | X | 0,00 | 0,5 | 0,00 |
| 7 | D | 17 | X | 26,56 | 0,3 | 7,97 |
| 8 | R | 19 | X | 29,69 | 0,6 | 17,81 |
| 9 | Média aritmética dos valores médios das flechas medidas em mm nas TRI e TRE | TRE = | TRI = | F = | | |
| | | 2,59 | 0,80 | 2,26 | | 2,26 |
| 10 | Média aritmética das variâncias das flechas medidas em ambas as trilhas | TRE _v = | TRI _v = | FV = | | |
| | | 9,15 | 2,07 | 5,61 | | 5,61 |
| Nº TOTAL DE ESTAÇÕES | | 64 | ∑ IND. GRAVID. IND. = IGG | | | 103,56 |

Fonte: Autora, 2024.

O valor de IGG obtido através dos somatórios de IGI's para cada item foi 103,56 para a via estudada indicando, através da tabela de conceitos presente na norma e apresentada neste trabalho na seção 3, que o grau de degradação do pavimento é classificado como “Ruim”, estando este entre os limites: $80 > IGG \geq 160$.

De maneira análoga foram realizados os cálculos para obtenção do IGG de T-1 e T-2. As tabelas contendo a planilha de cálculo do índice estão exibidas nas tabelas 15 e 16 respectivamente.

Tabela 12. Resultado de IGG para trecho I da Rua Capitão Manoel Miranda.

| RODOVIA: PLANILHA DE CÁLCULO DO ÍNDICE DE GRAVIDADE GLOBAL (IGG) TRECHO: SUB-TRECHO: 1 REVESTIMENTO TIPO: CBUQ | | | | | | Data: 18/08/2024 |
|--|---|---------------------|---------------------------------|------------------------|---------------------|--------------------------------|
| | | | | | | Estaca ou Quilômetro |
| Item | Natureza do defeito | Frequência absoluta | Frequência absoluta considerada | Frequência relativa | Fator de ponderação | Índice de gravidade individual |
| 1 | Trincas isoladas FI, TTC, TTL, TLC, TLL, TRR | 25 | 16 | 50,00 | 0,2 | 10,00 |
| 2 | (FC - 2) J, TB | 2 | 2 | 6,25 | 0,5 | 3,13 |
| 3 | (FC - 3) JE, TBE | 1 | 1 | 3,13 | 0,8 | 2,50 |
| 4 | ALP, ATP, ALC, ATC | 22 | 22 | 68,75 | 0,9 | 61,88 |
| 5 | O, P, E | 5 | 5 | 15,63 | 1,0 | 15,63 |
| 6 | EX | 0 | 0 | 0,00 | 0,5 | 0,00 |
| 7 | D | 6 | 6 | 18,75 | 0,3 | 5,63 |
| 8 | R | 6 | 6 | 18,75 | 0,6 | 11,25 |
| 9 | Média aritmética dos valores médios das flechas medidas em mm nas TRI e TRE | TRE = | TRI = | F = | 1 A (x) | |
| | | 2,03 | 0,91 | 1,96 | 1 B () | 1,96 |
| 10 | Média aritmética das variâncias das flechas medidas em ambas as trilhas | TREv = | TRIV = | FV = | 2 A (x) | |
| | | 5,66 | 2,15 | 3,90 | 2 B () | 3,90 |
| Nº TOTAL DE ESTAÇÕES | | 32 | ∑ IND. GRAVID. IND. = IGG | | | 115,86 |
| | | | | | | Conceito |
| 1A) IGI = $F \times \frac{4}{3}$ quando $F \leq 30$ | | | | 2A) IGI = FV quando FV | | RUIM |
| 1B) IGI = 40 quando $F > 30$ | | | | 2B) IGI = 50 quando FV | | |

Fonte: Autora, 2024.

Tabela 13. Resultado de IGG do trecho 2 da Rua Capitão Manoel Miranda.

| RODOVIA: PLANILHA DE CÁLCULO DO ÍNDICE DE GRAVIDADE GLOBAL (IGG) TRECHO: SUB-TRECHO: 2 REVESTIMENTO TIPO: CBUQ | | | | | | Data: 18/08/2024 |
|--|---|---------------------|---------------------------------|---------------------|---------------------|--------------------------------|
| | | | | | | Estaca ou Quilômetro |
| Item | Natureza do defeito | Frequência absoluta | Frequência absoluta considerada | Frequência relativa | Fator de ponderação | Índice de gravidade individual |
| 1 | Trincas isoladas FI, TTC, TTL, TLC, TLL, TRR | 7 | 7 | 21,88 | 0,2 | 4,38 |
| 2 | (FC – 2) J, TB | 5 | 5 | 15,63 | 0,5 | 7,81 |
| 3 | (FC – 3) JE, TBE | 1 | 1 | 3,13 | 0,8 | 2,50 |
| 4 | ALP, ATP, ALC, ATC | 14 | 14 | 43,75 | 0,9 | 39,38 |
| 5 | O, P, E | 2 | 2 | 6,25 | 1,0 | 6,25 |
| 6 | EX | 1 | 1 | 3,13 | 0,5 | 1,56 |
| 7 | D | 5 | 5 | 15,63 | 0,3 | 4,69 |
| 8 | R | 7 | 7 | 21,88 | 0,6 | 13,13 |
| 9 | Média aritmética dos valores médios das flechas medidas em mm nas TRI e TRE | TRE = | TRI = | F = | 1 A (X) | |
| | | 3,16 | 0,78 | 2,63 | 1 B () | 2,63 |
| 10 | Média aritmética das variâncias das flechas medidas em ambas as trilhas | TRE _v = | TRI _v = | FV = | 2 A (X) | |
| | | 12,01 | 2,11 | 7,06 | 2 B () | 7,06 |
| Nº TOTAL DE ESTAÇÕES | | 32 | Σ IND. GRAVID. IND. = IGG | | | 89,37 |
| $\bar{1}A) IGI = F \times 4/3$ quando $F \leq 30$ ≤ 50 | | | | | | Conceito RUIIM |
| $\bar{1}B) IGI = 40$ quando $F > 30$ > 50 | | | | | | |

Fonte: Autora, 2024.

Como é possível observar, foram obtidos os IGG de 115,86 para T-1 e 89,37 para T-2, ambos enquadrados no conceito “Ruim” de grau de degradação do pavimento, no entanto com T-2 apresentando um desempenho melhor e próximo de ser considerado “Regular”.

Os resultados de IGG obtidos para cada trecho confirmam que o T-1 se encontra em piores condições de conservação, uma causa provável para fenômeno pode ser o maior tráfego de veículos pesado no trecho inicial da via, considerando o sentido adotado neste estudo. Este

Relacionando os resultados obtidos neste trabalho com os resultados de Almeida, tem-se que os subtrechos 1 e 4 são equivalentes a T-1 e os subtrechos 2 e 3 são equivalentes a T-2. A partir dos valores de IGG de T-1 e T-2 presentes na tabela 1 é possível comparar os valores.

Tabela 14. IGG dos trechos T-1 e T-2.

| IGG | |
|-----|--------|
| T-1 | 115,86 |
| T-2 | 89,37 |

Fonte: Autora, 2024.

Vale ressaltar que tanto a escala visual quanto o VSA são escalas de notas de 0 a 5, onde 0 é a pior nota e 5 é a melhor. Neste sentido, comparando os valores observa-se que os subtrechos 1 e 4 obtiveram os maiores valores, o que indica melhor condição de conforto do rolamento.

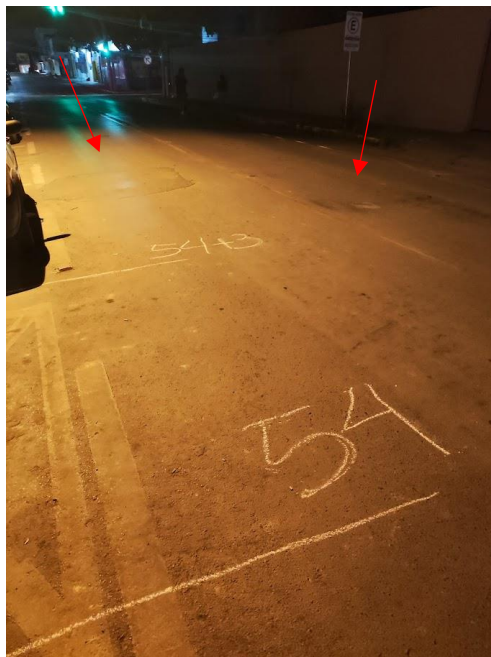
Por outro lado, quanto maior o IGG menor o conforto, a partir disso infere-se que as duas pesquisas apontam para o mesmo resultado: a via confere pouco conforto ao usuário e necessita de manutenções corretivas, logo que a via é classificada por Almeida (2022) como Regular com VSA final de 2,54, no limiar da aceitabilidade, enquanto o IGG caracteriza a via com conceito “Ruim” de grau de degradação do pavimento. No entanto, o trecho inicial da via, com início no acesso à BR 135 possui maior degradação que o trecho final da Rua Capitão Manoel Miranda, inverso ao apontado por Almeida (2022), o que pode ser justificado por realização de manutenções ou aparecimento de novos defeitos.

A partir da comparação entre os resultados, observa-se que o método por obtenção do VSA apresentou resultados mais brandos para a condição da via. Isto pode ser explicado pela subjetividade intrínseca do método, que depende do nível criticidade dos avaliadores, além de questões externas, a exemplo do estudo realizado por Almeida (2022), onde a via apresentou valores de conforto divergentes para diferentes horários do dia. Por outro lado, a avaliação objetiva possui embasamento quantitativo como forma de análise, permitindo a reprodução do ensaio e validação dos valores de maneira mais imparcial.

Vale salientar que consoante à norma DNIT 006/2003 – PRO, para a obtenção do IGG considera-se apenas os defeitos presentes nas superfícies da avaliação. Sendo esta uma questão importante relacionada às limitações do método, pois existiram defeitos graves que não foram

contabilizados por se encontrarem fora da qualquer superfície de avaliação, a exemplo do que ocorre na estaca 54 apresentada na figura 30.

Figura 30. Estaca 54 com remendos fora da superfície de avaliação demarcada.

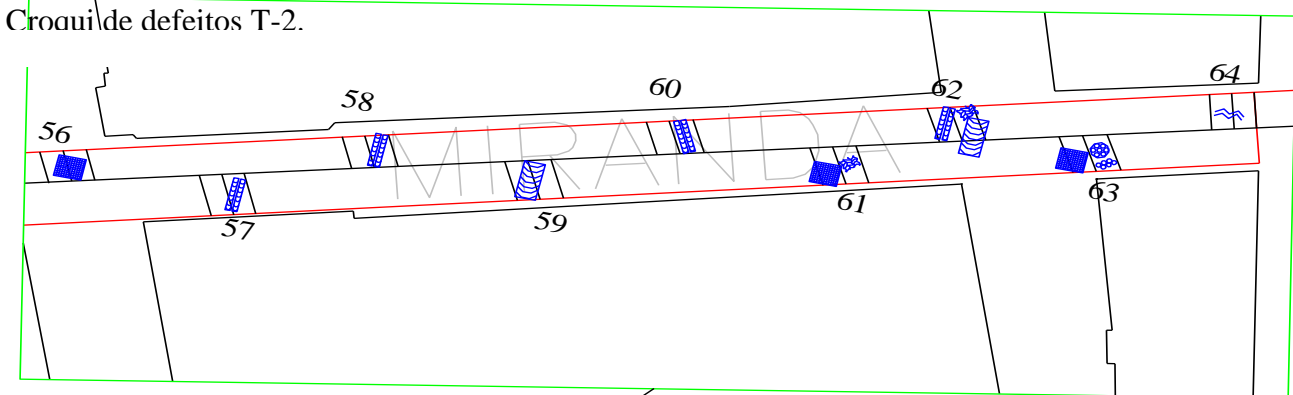
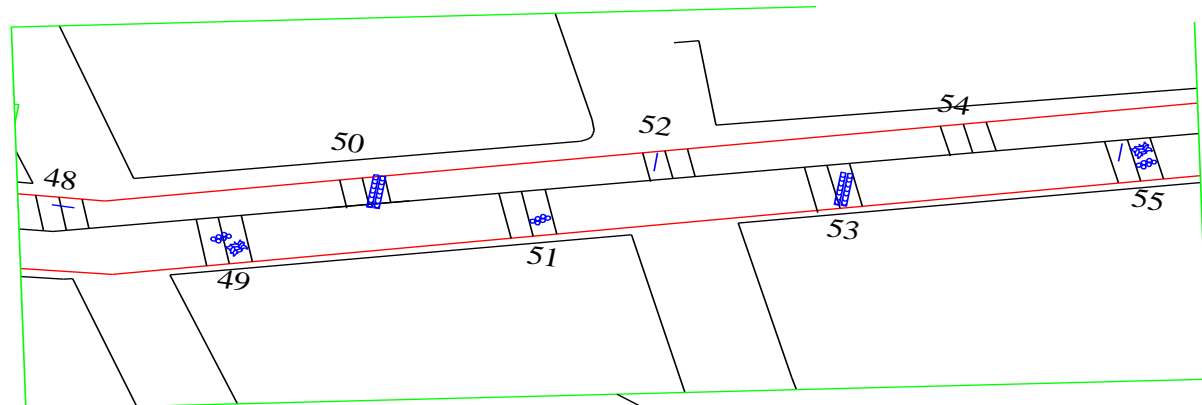


Fonte: Autora, 2024.

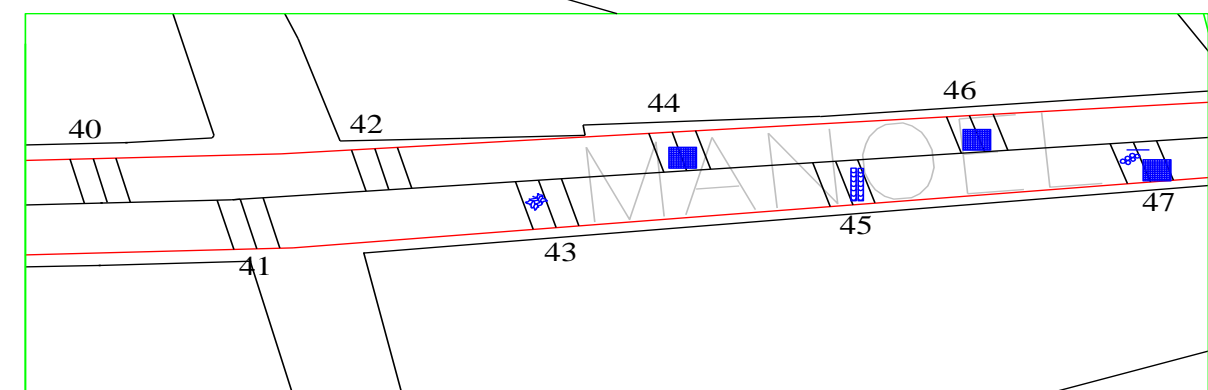
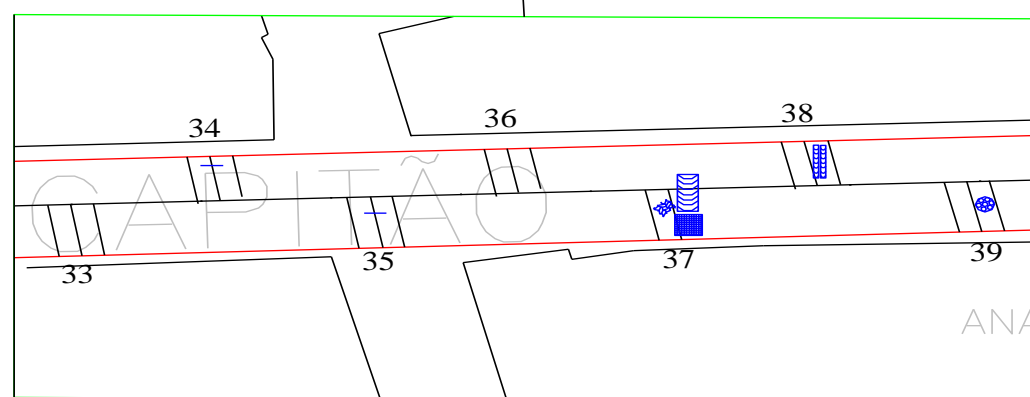
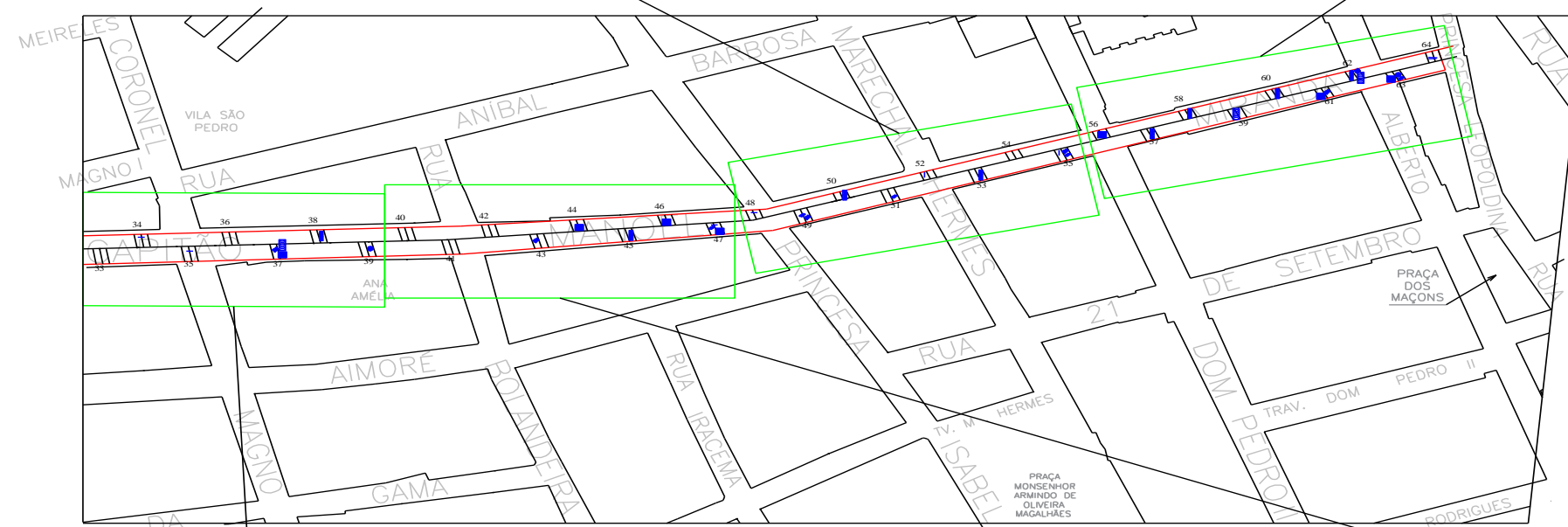
Ademais, é importante ressaltar que há o lapso de dois anos entre os dois estudos. Considerando o tempo um fator de degradação do pavimento, é possível considerar que este fato também se enquadra como provável justificativa para o resultado de pior estado da pista de rolamento.

Através do levantamento de defeitos, foi produzido croqui atualizado de defeitos do pavimento, conforme normatizado, os defeitos foram levantados apenas nas superfícies de avaliação. O croqui de T-1 se encontra na figura 31 e o croqui de T-2 se encontra na figura 32.

Figura 32. Croqui de defeitos T-2.



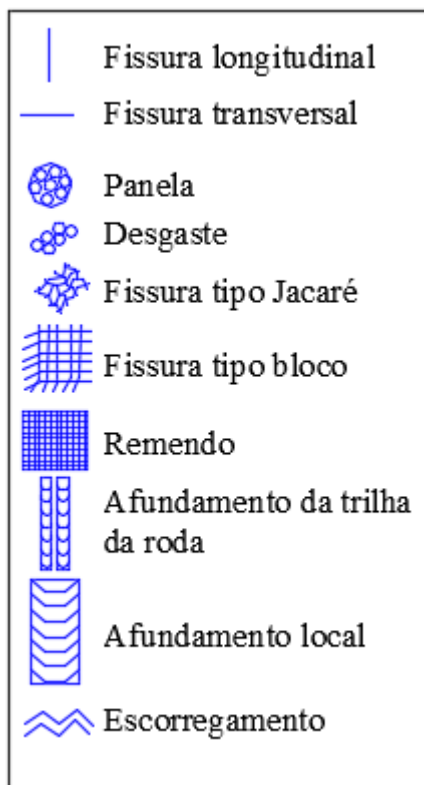
T-2



Fonte: Autora, 2024.

Para tornar a análise mais intuitiva, foi utilizada no croqui a mesma legenda que Almeida (2022) presente na figura 33.

Figura 33. Legenda do croqui.



Fonte: Autora, 2024.

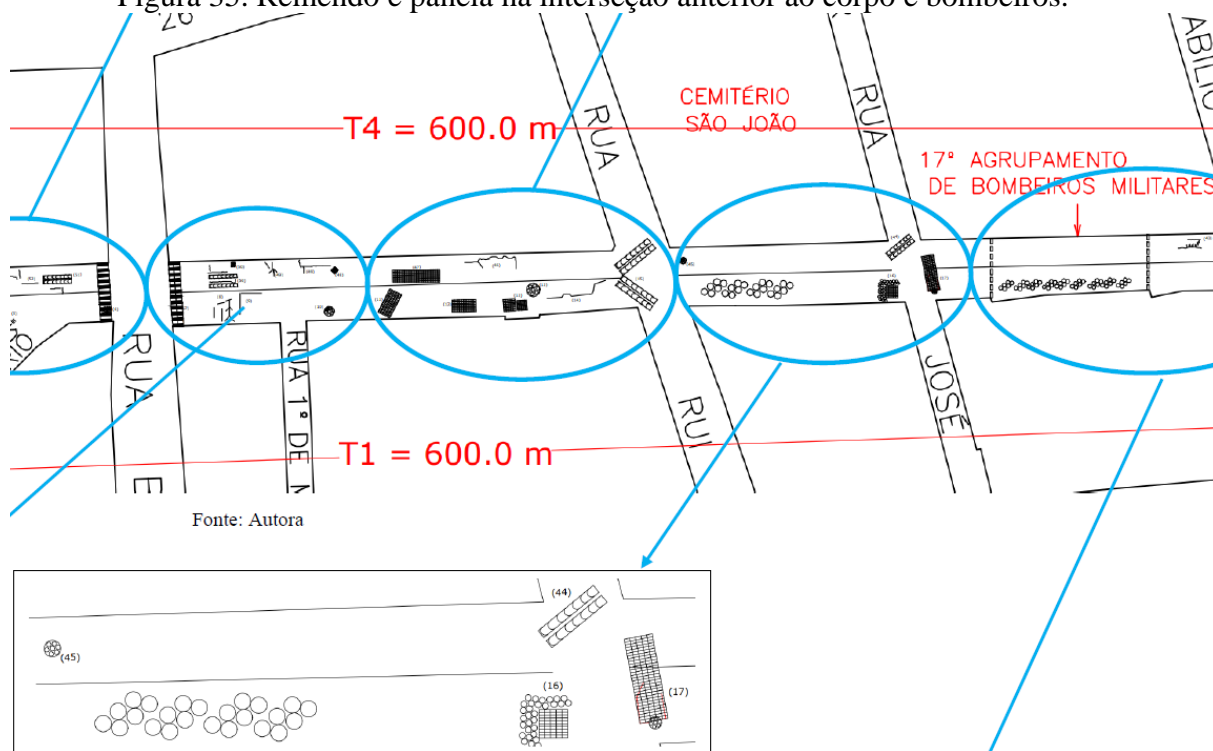
Ao comparar o croqui produzido para este estudo e o produzido por Almeida (2022) nota-se que alguns defeitos permaneceram como os encontrados na estaca 23 e sinalizados por Almeida (2022) no fragmento da figura 35 a seguir. Nota-se através da figura 34 que este defeito é causado por uma manutenção do esgotamento público, sendo a má execução do elemento por parte da empresa de saneamento da cidade a causa do defeito retratado.

Figura 34. Defeito causado por manutenção no esgotamento público.



Fonte: Autora, 2024.

Figura 35. Remendo e panela na interseção anterior ao corpo e bombeiros.

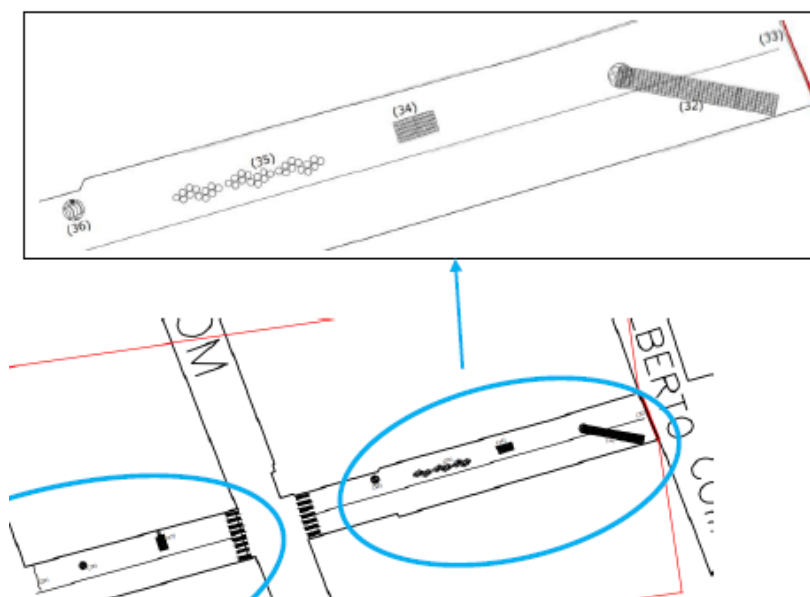


Fonte: Autora

Fonte: Almeida, 2022.

Ademais, foram percebidos novos defeitos como os afundamentos presentes na estaca 62 que não foram catalogados anteriormente por Almeida (2022) como é possível observar na figura 36. A comparação dos defeitos foi realizada com base na localização destes, observada através de pontos de referência e nomes de ruas, a exemplo do 17º Agrupamento de Bombeiros Militares presente na figura 36.

Figura 36. Defeitos não catalogados antes.



Fonte: Almeida, 2022.

Tais observações indicam que são realizadas manutenções na via, porém não de maneira efetiva o suficiente, pois o remendo e panela observados em 2022 persistem diminuindo o conforto da via em 2024.

Com relação aos conceitos encontrados, infere-se que o resultado obtido neste estudo é validado tendo em vista a conclusão chegada por Zanchetta (2017) em seu estudo onde há percepção que o método do IGG tende a direcionar a resultados mais severos do que resultados obtidos por outros métodos de avaliação na mesma via.

Além do estudo realizado por Almeida (2022), é possível relacionar os resultados com os resultados obtidos por Vilas Boas (2017) e Santos (2017) que também realizaram estudos com obtenção de IGG em vias no município de Barreiras-BA. Nestes foram encontrados os conceitos “Regular”, “Ruim” e “Péssimo” em todos os estudos. Em Santos (2017), 97% dos trechos estudados apresentaram este desempenho.

Demonstrando assim o baixo desempenho das vias em Barreiras-BA. Fato este corroborado por outros ensaios realizados por Vilas Boas (2017) e Santos (2017) com abordagem estrutural do pavimento.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foram obtidos os resultados das medidas das flechas e o levantamento de defeitos, resultando em um valor de IGG para a via completa de 103,56; para T-1, 115,86; e para T-2, 89,37. Todos os valores se enquadram na classificação “Ruim” quanto ao grau de degradação do pavimento, indicando a necessidade de uma avaliação estrutural e de manutenções corretivas, os resultados indicam ainda que o trecho T-1 oferece um conforto menor em relação ao trecho subsequente, podendo este fato estar atrelado à maior solicitação da via por veículos de carga.

Os defeitos mais observados foram os afundamentos consolidados de trilha da roda, indicando problema na estrutura da via, sendo estes atrelados comumente à erro de compactação das camadas abaixo do revestimento, seja na base, sub-base ou subleito. Sendo este o caso, o pavimento necessita de recapeamento (Cichinelli, 2015).

Esses resultados foram comparados com a avaliação subjetiva realizada por Almeida (2022), que obteve resultados mais brandos para o estado da via, porém seguindo a mesma tendência inversa quanto à qualidade entre o trecho inicial e final da via. Esse fato pode ser explicado pela menor influência subjetiva dos avaliadores na análise da condição do rolamento da via e ainda pelo intervalo de dois anos entre os dois estudos. Ressalta-se ainda o método de avaliação por IGG resulta geralmente em diagnósticos mais severos que os obtidos através de outros métodos de avaliação, como abordou Zanchetta (2017) em seu estudo.

Ademais é possível relacionar os resultados com os resultados obtidos por Vilas Boas (2017) e Santos (2017) que também realizaram estudos com obtenção de IGG em vias no município de Barreiras-BA. Sendo encontrados conceitos “Regular”, “Ruim” e “Péssimo” em todos os estudos. Isso demonstra a baixa qualidade recorrente das pistas de rolamento na região oeste da Bahia.

Portanto, conclui-se que o presente trabalho atingiu o objetivo proposto, analisando a via de forma objetiva e fornecendo resultados satisfatórios que permitem a comparação com o estudo anterior realizado na mesma via e outros estudos realizados na região.

6. SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

Levando em consideração o objetivo da norma DNIT 006/2003 (DNIT, 2003) a avaliação objetiva realizada resulta na indicação de conduta quanto a realização de avaliação estrutural. Em decorrência do resultado apresentado, sugere-se a avaliação estrutural da via e posterior comparação com os resultados da avaliação subjetiva e objetiva realizada.

Sugere-se ainda realização do procedimento descrito em outras ruas da cidade, para verificação de padrão, ou ainda realização do procedimento de Obtenção do IGG iniciando pelo bordo contrário ao utilizado neste estudo e verificação de confiabilidade do método.

Tendo em vista a realização do procedimento no período noturno, sugere-se a execução deste em horário diurno e verificação se há disparidade significativa na percepção de defeitos na via. A partir dos dados encontrados será possível prescrever com exatidão o diagnóstico e o procedimento de manutenção da via, além de possibilitar a validação dos métodos.

7. REFERÊNCIAS

AASHTO. *American Association of State Highway and Transportation Officials*. AASHTO T283-14. Resistance of compacted asphalt mixtures to moisture-induced damage. 2015.

ABPv. Associação Brasileira De Pavimentação. Informativo técnico sobre avaliação da resistência à derrapagem através de aparelhagem portátil. Boletim Técnico, Rio de Janeiro, 1999.

AGUIAR, M. F. P.; TEIXEIRA, M. M. B. G.; OLIVEIRA, A. L.; MOURA, A. S. Contribuição metodológica para controle de qualidade de camadas de pavimentos flexíveis com base em correlações CBR x DCP. *Conex. Ci. e Tecnol*, v. 5, n.3, p. 22-27, Fortaleza/CE, 2011.

ALBERNAZ, C. A. V. Método Simplificado de Retroanálise de Módulos de Resiliência de Pavimentos Flexíveis a Partir da Bacia de Deflexão. COPPE/UFRJ Rio de Janeiro, 1997.

ALMEIDA, M.; JUSSARA, M. Análise Comparativa De Métodos De Pavimentação – Pavimento Rígido (Concreto) X Flexível (Asfalto). n. 2009, 2016.

ALMEIDA, P. Z. L. Avaliação Subjetiva da condição do pavimento flexível de subtrechos de uma via da cidade de Barreiras-BA. Barreiras/BA, 2022.

ASTM. American Society for Testing and Materials. ASMT D4694. Standard Test Method for Deflections with a Falling-Weight-Type Impulse Load Device. 2015.

ASTM. American Society for Testing and Materials. ASMT E2583-07. Standard Test Method For Measuring Deflections With A Light Weight Deflectometer (LWD). 2020.

ASTM. American Society for Testing and Materials. ASTM D 6433 – 07 - Standard Practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition Index Surveys. 2007.

BALAREZO-ZAPATA, J. Evaluación estructural usando viga Benkelman aplicada a un pavimento. Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería. Piura, Perú. 2017.

BALBO, J. T. Pavimentação asfáltica: materiais, projeto e restauração. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

BARELLA, R. M. Contribuição Para a Avaliação da Irregularidade Longitudinal de Pavimentos com Perfilômetros inerciais. p. 362, 2008.

BERNUCCI, L. B *et. al.* Pavimentação asfáltica. Petrobrás, 2008.

BORGES, C. B. S. Estudo comparativo entre medidas de deflexão com viga Benkelman e FWD em pavimentos da malha rodoviária estadual de Santa Catarina. Santa Catarina, 2001.

BRITISH STANDARD EN. EN 13036-1. Road and Airfield Surface Characteristics - Test Methods Part 1: Measurement of Pavement Surface Macrotexture Depth Using A Volumetric Patch Technique PDF Download. 2019.

BUENO, L. D.; PEREIRA, D. S.; BACK, A. H.; BOEIRA, F. D.; SANTOS, M. S. S.; JUNIOR, E. T.; SPECHT, L. P. Correlações entre bacias deflectométricas determinadas a partir da viga Benkelman e Falling Weight Deflectometer: Estudo de caso em dois trechos monitorados em Santa Maria/RS. CIATEC – UPF, p. 33-44. 2022.

CARNEIRO, F.B.L. Viga Benkelman - Instrumento Auxiliar do Engenheiro de Conservação. Caderno de Engenharia Rodoviária 2. Secretaria de Comunicações e Transporte. DER/RJ, 1966.

CICHINELLI, G. Recuperação e Reforço de Pavimentos. NewsRoad Consultoria, 2015. Disponível em: <https://newroads.com.br/recuperacao-e-reforco-de-pavimentos/>. Acesso em: 12 Set. 2024.

CNT. Confederação Nacional do Transporte. Brasil tem método antigo para dimensionar pavimento. Governo Federal, 2017. Disponível em: <<https://cnt.org.br/agencia-cnt/brasil-tem-metodo-antigo-para-dimensionar-o-pavimento>>. Acesso em: 05 dez. 2023.

CNT. Confederação Nacional do Transporte. Conheça os 13 principais defeitos do pavimento das rodovias. Governo Federal, 2018. Disponível em: <https://www.cnt.org.br/agencia-cnt/conheca-principais-defeitospavimento>. Acesso em: 20 nov. 2023.

CNT. Confederação Nacional do Transporte. Rodovias brasileiras apresentam piora de qualidade. Governo Federal, 2022. Disponível em: <https://cnt.org.br/agencia-cnt/rodovias-brasileiras-apresentam-piora-de-qualidade>. Acesso em: 05 dez. 2023.

DNER. Departamento Nacional de Estradas e Rodagem. DNER-PRO 011/79. Avaliação Estrutural dos Pavimentos Flexíveis. 1979.

DNER. Departamento Nacional de Estradas e Rodagem. DNER-PRO 024/94. Pavimento – Determinação das deflexões pela viga Benkelman. 1994.

DNER. Departamento Nacional de Estradas e Rodagem. DNER-PRO 10/79. Avaliação Estrutural dos Pavimentos Flexíveis – Volume I. 1979.

DNER. Departamento Nacional de Estradas e Rodagem. DNER-PRO 164/94. Calibração e controle de sistemas medidores de irregularidades de superfície de pavimento (Sistemas Integradores IPR/USP e Maysmeter. 1994b.

DNER. Departamento Nacional de Estradas e Rodagem. DNER-PRO 269/94. Projeto de restauração de pavimentos flexíveis – TECNAPAV. 1994.

DNER. Departamento Nacional de Estradas e Rodagem. DNER-PRO 273/96. Determinação de deflexões utilizando deflectômetro de impacto tipo “Falling Weight Deflectometer (FWD)”. 1996.

DNIT. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. DNIT 005/2003 – TER. Defeitos nos pavimentos flexíveis e semi-rígidos Terminologia. Rio de Janeiro/RJ, 2003.

DNIT. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. DNIT 006/2003 – PRO. Avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos - Procedimento. Rio de Janeiro/RJ, 2003b.

DNIT. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. DNIT 009/2003 – PRO. Avaliação subjetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos - Procedimento. Rio de Janeiro/RJ, 2003c.

DNIT. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. DNIT 181/2018 – ME. Pavimentação – Material Estabilizado Quimicamente – Determinação do módulo de resiliência – Método de ensaio. Rio de Janeiro/RJ, 2018.

DNIT. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos. Publicação IPR-720. Rio de Janeiro/RJ, 2006.

DUARTE, J. P. S. Avaliação do COEFICIENTE DE ATRITO em Aeroportos Portugueses: O caso do Aeroporto de Lisboa. Portugal, 2011.

DYNATEST Tecnologia. Folheto Falling Weight Deflectometer (FWD). 2023b.

DYNATEST Tecnologia. Folheto Light Weight Deflectometer (LWD). 2023.

EPL, Empresa de Planejamento e Logística. Plano Nacional de Logística PNL 2035 - Relatório Executivo (Versão Preliminar). Ministério da Infraestrutura - MInfra, 2021.

FEITOSA, P. V. B. Avaliação funcional de Pavimento Flexível: Estudo de Caso da Ce-090. Fortaleza/CE, 2022.

GOOGLE. Google Maps. Disponível em: <<https://www.google.com.br/maps/@-12.1504328,-45.0000143,17z?entry=ttu>>, Acesso em: 05 dez. 2023.

GURGEL, J. P. V. Avaliação de Macrotextura e Microtextura em Pavimentos Asfálticos - Estudo De Caso. Brasília/DF, 2019.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Produto Interno Bruto dos municípios. Rio de Janeiro/RJ, 2020.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Mapa de clima do Brasil. 1 mapa. Escala 1:5 000 000. Rio de Janeiro, 2002. Disponível em: <https://atlascolar.ibge.gov.br/images/atlas/mapas_brasil/brasil_clima.pdf>, Acesso em: 20 nov. 2023.

ISO. Organização Internacional de Padronização. ISO 13473-1. Characterization of pavement texture by use of surface profiles. 2019.

MACEDO, F. E. F. DE. Estudo do Valor de Serventia Atual de Pavimento Flexível e do Envelhecimento do Ligante Asfáltico Removido: Trecho Entre os Municípios de Crateús e Independência (Br-226/Ce). 2022.

MACHADO, D. M. C. Avaliação de normas de identificação de defeitos para fins de gerência de pavimentos flexíveis. p. 130, 2013.

MEDINA, J.; MOTTA, L. M. G. Mecânica dos Pavimentos. 3ª edição ed. Rio de Janeiro, Brasil: Interciência Ltda., 2015.

MENENDEZ, O. H.. Ensaios de determinação de estado do pavimento pelo DNIT em Barreiras/BA. Notas de aula de pavimentação. 2023.

MOMM, L., DOMINGUES, F.A.A. Comportamento das Misturas Asfálticas à Deflexão: Módulo, um Dilema não Resolvido. 30ª Reunião Anual de Pavimentação. Salvador/BA, 1996.

PANDOLFO, D. K.; ECHEVERRIA, J. A. S.; SPECHT, L. P. Análise Mecanística de um pavimento flexível restaurado a partir do MR obtido em diferentes softwares de retroanálise com dados de viga Benkelman. Civil IMED. p. 71-86. 2016.

PEREIRA, T. C. Uma contribuição para a determinação de propriedades físicas e mecânicas de materiais granulares compactos, com recurso a penetrômetro dinâmico ligeiro. Porto, 2010.

SANTOS, H. S. B. DOS; LIMA, A. P. DE A.; OLIVEIRA, J. L. DE; SANTOS, R. L. Análise aos Aspectos Geomorfológicos do Município de Barreiras – Ba. 2007.

SANTOS, R. M. Levantamento das Condições de Rodovias do Oeste da Bahia: Avaliação Da Superfície Do Pavimento Da Ba – 447. Universidade Federal do Oeste da Bahia. Bahia, 2017.

SAYERS, M.W.; KARAMIHAS, S.M. The little book of profiling. Basis information about measuring an interpreting road profiles. The Regent of the University of Michigan. 1998.

SENATRAN - Secretaria Nacional de Trânsito. Frota de veículos. 2022.

SOLOTEST. Catálogo Asfalto-Betume. São Paulo/SP, 2023.

VIEIRA, S. A.; PINHO JÚNIOR, A. A. E. DE; OLIVEIRA, F. H. L. DE; AGUIAR, M. F. P. DE. Análise Comparativa de Metodologias de Avaliação de Pavimentos Através do IGG e Pci. Conexões - Ciência e Tecnologia, v. 10, n. 3, p. 20–30, 2016.

VILAS BOAS, V. G. P. Avaliação Objetiva E Estrutural De Pavimento Com Base Em Ensaios De Penetrômetro Dinâmico De Cone (DCP) – Aplicado Ao Trecho Do Anel Viário De Barreiras. Universidade Federal do Oeste da Bahia. Bahia, 2017.

WEATHERSPARK. Clima e condições meteorológicas em Barreiras o ano todo. 2023. Disponível em: <<https://pt.weatherspark.com/y/30524/Clima-característico-em-Barreiras-Brasil-durante-o-ano>>. Acesso em: 26 ago. 2024.

ZANCHETTA, F. Sistema De Gerência De Pavimentos Urbanos: Avaliação de Campo, Modelo de Desempenho e Análise Econômica. p. 234, 2017.

ZUMRAWI. M. Prediction of In-situ CBR of Subgrade Cohesive Soils from Dynamic Cone Penetrometer and Soil Properties. International Journal of Engineering and Technology. p. 439-442. 2014.

APÊNDICE A

INVENTÁRIO DO ESTADO DA SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO

| RODOVIA: Rua Capitão Manoel Miranda | | OPERADOR: Beatriz Alves de Lima | | | | | | | | | | | | | | FOLHA: | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------------|----------|---------------------------------|-------|--------------|-------|-------|--------------|------|----------|-------|----------|-------|-------|-------|-----|----------------------|-----|------|---------------|--------------|--------------|--------|--------|-----|-----|----|--|
| TRECHO: | | REVESTIMENTO TIPO: CBUQ | | | | | | | | | | | | | | ESTACA OU QUILOMETRO | | | | | | | | | | | |
| SUBTRECHO: | | DATA: 18/08/2024 | | | | | | | | | | | | | | ESTACA OU QUILOMETRO | | | | | | | | | | | |
| Estaca ou km | TRINCAS | | | | | | AFUNDAMENTOS | | | | OUTROS | | | | | | | | TRINCAS RODAS | | Observações: | | | | | | |
| | ISOLADAS | | | INTERLIGADAS | | | PLASTICO | | CONSOLID | | DEFEITOS | | | | | | | | TRI +TRELIÇA | TRE +TRELIÇA | | TRI mm | IRE mm | | | | |
| | FI 1 | TTC 1 | TTL 1 | TLC 1 | TLL 1 | TRR 1 | FC - 2 | | FC - 3 | | ALP 4 | ATP 4 | ALC 4 | ATC 4 | O 5 | P 5 | E 5 | EX 6 | | | | | | D 7 | R 8 | | |
| | | | | | | | J 2 | TB 2 | JE 3 | TBE 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | | X | | X | | | | | | | | | | | | | | | | | | 899 | 905 | -1 | 5 | | |
| 2 | | X | | X | | | | | | | | | X | | | | | | X | | | | 903 | 897 | 3 | -3 | |
| 3 | | X | | X | | | | | | | | | | | X | | | | X | X | | | 900 | 907 | 0 | 7 | |
| 4 | | X | | X | | | | | | | | X | | | | | | | | | | | 894 | 900 | -6 | 0 | |
| 5 | | X | | X | | | | | | | | | X | | | | | | X | | | | 893 | 896 | -7 | -4 | |
| 6 | | | | | | | X | | | | | | | | X | | | | | | | | 899 | 899 | -1 | -1 | |
| 7 | | | | | | | | | | | | | X | | | | | | X | | | | 899 | 902 | -1 | 2 | |
| 8 | | X | | | X | | | | | | | | X | | | | | | | | | | 899 | 900 | -1 | 0 | |
| 9 | | | | | | | | | | | | | X | | | | | | X | | | | 893 | 893 | -7 | -7 | |
| 10 | | X | | X | | | | | | | | | X | | | | | | | | | | 898 | 895 | -2 | -5 | |
| 11 | | X | | X | | | | | | | | | X | | | | | | | | | | 904 | 903 | 4 | 3 | |
| 12 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 901 | 899 | 1 | -1 | |
| 13 | | X | | | | | | | | | | | X | | | | | | | | | | 902 | 903 | 2 | 3 | |
| 14 | | X | | | X | | | | | | | | X | | | | | | | X | | | 900 | 897 | 0 | -3 | |
| 15 | | X | | | | | | | | | | | X | | | | | | | X | | | 896 | 898 | -4 | -2 | |
| 16 | | | | X | | | | | | | | | X | | | | | | | | | | 902 | 902 | 2 | 2 | |
| 17 | | | | | | | X | | | | | | X | | X | | | | | | | | 896 | 898 | -4 | -2 | |

Continuação APÊNDICE A

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|--|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|--|
| 18 | | X | | | | | | | | | | | | | | | | 906 | 906 | 6 | 6 | | | | |
| 19 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 896 | 903 | -4 | 3 | | | |
| 20 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 901 | 897 | 1 | -3 | | | |
| 21 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 902 | 902 | 2 | 2 | | | |
| 22 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 899 | 905 | -1 | 5 | | | |
| 23 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | X | 903 | 903 | 3 | 3 | | |
| 24 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | X | 897 | 897 | -3 | -3 | | |
| 25 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | X | 897 | 901 | -3 | 1 | | |
| 26 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | X | 901 | 903 | 1 | 3 | | |
| 27 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | X | 900 | 903 | 0 | 3 | | |
| 28 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | X | 896 | 902 | -4 | 2 | | |
| 29 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | X | 895 | 905 | -5 | 5 | | |
| 30 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | X | 903 | 898 | 3 | -2 | | |
| 31 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | X | 901 | 901 | 1 | 1 | | |
| 32 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | X | 899 | 909 | -1 | 9 | | |
| 34 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | X | 895 | 910 | -5 | 10 | | |
| 35 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | X | 897 | 904 | -3 | 4 | | |
| 36 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | X | 902 | 902 | 2 | 2 | | |
| 37 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | X | 900 | 901 | 0 | 1 | | |
| 38 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | X | 901 | 904 | 1 | 4 | | |
| 39 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | X | 898 | 899 | -2 | -1 | | |
| 40 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | X | 899 | 899 | -1 | -1 | | |
| 41 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | X | 896 | 901 | -4 | 1 | | |
| 42 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | X | 900 | 900 | 0 | 0 | | |
| 43 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | X | 900 | 900 | 0 | 0 | | |
| 44 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | X | 900 | 898 | 0 | -2 | | |
| 45 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | X | 898 | 902 | -2 | 2 | | |
| 46 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | X | 899 | 897 | -1 | -3 | | |
| 47 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | X | X | 903 | 899 | 3 | -1 | |

Continuação APÊNDICE A

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|--|---|--|---|--|--|---|---|--|--|--|---|---|--|---|---|--|---|-----|-----|-----|----|---|--|
| 48 | | X | | | | | | | | | | | | | | | | | 890 | 901 | -10 | 1 | | |
| 49 | | | | | | | | X | | | | | | | | | | X | 898 | 904 | -2 | 4 | | |
| 50 | | | | | | | | | | | | | X | | | | | | 896 | 905 | -4 | 5 | | |
| 51 | | | | | | | | | | | | | | | | | | X | 892 | 904 | -8 | 4 | | |
| 52 | | | | X | | | | | | | | | | | | | | | 903 | 902 | -3 | 2 | | |
| 53 | | | | | | | | | | | | | X | | | | | | 895 | 907 | -5 | 7 | | |
| 54 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 900 | 901 | 0 | 1 | | |
| 55 | | | | X | | | X | | | | | | | | | | | X | 893 | 901 | -7 | 1 | | |
| 56 | | | | | | | | | | | | | | | | | | X | 891 | 912 | -9 | 12 | | |
| 57 | | | | | | | | | | | | | X | | | | | | 895 | 904 | -5 | 4 | | |
| 58 | | | | | | | | | | | | | X | | | | | | 891 | 912 | -9 | 12 | | |
| 59 | | | | | | | | | | | | X | | | | | | | 895 | 903 | -5 | 3 | | |
| 60 | | | | | | | | | | | | | X | | | | | | 903 | 907 | 3 | 7 | | |
| 61 | | | | | | | X | | | | | | | | | | | X | 903 | 907 | 3 | 7 | | |
| 62 | | | | | | | X | | | | | | X | | | | | | 901 | 902 | 1 | 2 | | |
| 63 | | | | | | | | | | | | X | | | X | | | X | X | 906 | 906 | 6 | 6 | |
| 64 | | | | | | | | | | | | | | | | X | | | 897 | 901 | -3 | 1 | | |

APÊNDICE B

INVENTÁRIO DO ESTADO DA SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO

| | | |
|-------------------------------------|---------------------------------|----------------------|
| RODOVIA: Rua Capitão Manoel Miranda | OPERADOR: Beatriz Alves de Lima | FOLHA: |
| TRECHO: | REVESTIMENTO TIPO: CBUQ | |
| SUBTRECHO: | DATA: 18/08/2024 | |
| | ESTACA OU QUILOMETRO | ESTACA OU QUILOMETRO |

| Estaca ou km | TRINCAS | | | | | | AFUNDAMENTOS | | | | OUTROS DEFEITOS | | | | | | TRINCAS RODAS | | Observações: | | | | |
|-----------------|----------|----------|----------|--------------|----------|----------|--------------|------|----------|-------|-----------------|--------|--------|---------|--------|--------|------------------|-----------|--------------|----------|----------|----------|----------|
| | ISOLADAS | | | INTERLIGADAS | | | PLASTICO | | CONSOLID | | O 5 | P 5 | E 5 | EX 6 | D 7 | R 8 | TRI mm | IRE mm | | | | | |
| | FI 1 | TTC 1 | TTL 1 | TLC 1 | TLL 1 | TRR 1 | FC - 2 | | FC - 3 | | | | | | | | | | | ALP 4 | ATP 4 | ALC 4 | ATC 4 |
| | | | | | | | J 2 | TB 2 | JE 3 | TBE 3 | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | X | | X | | | | | | | | | | | | | | 0 | 5 | | | | | |
| 2 | X | | X | | | | | | | | | X | | | | X | | 3 | 0 | | | | |
| 3 | X | | X | | | | | | | | | | | X | | X | | 0 | 7 | | | | |
| 4 | X | | X | | | | | | | | X | | | | | | | 0 | 0 | | | | |
| 5 | X | | X | | | | | | | | | X | | | | X | | 0 | 0 | | | | |
| 6 | | | | | | | X | | | | | | | X | | | | 0 | 0 | | | | |
| 7 | | | | | | | | | | | | X | | | | X | | 0 | 2 | | | | |
| 8 | X | | | | X | | | | | | | X | | | | | | 0 | 0 | | | | |
| 9 | | | | | | | | | | | | X | | | | X | | 0 | 0 | | | | |
| 10 | X | | X | | | | | | | | | X | | | | | | 0 | 0 | | | | |
| 11 | X | | X | | | | | | | | | X | | | | | | 4 | 3 | | | | |
| 12 | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | 0 | | | | |
| 13 | X | | | | | | | | | | | X | | | | | | 2 | 3 | | | | |
| 14 | X | | | | X | | | | | | | X | | | | | X | 0 | 0 | | | | |
| 15 | X | | | | | | | | | | | X | | | | | X | 0 | 0 | | | | |
| 16 | | | X | | | | | | | | | X | | | | | | 2 | 2 | | | | |
| 17 | | | | | | | X | | | | | X | | X | | | | 0 | 0 | | | | |
| 18 | X | | | | | | | | | | | X | | | | | | 6 | 6 | | | | |

Continuação APÊNDICE B

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|--|--|--|---|--|--|--|---|---|--|--|--|---|---|--|---|---|--|---|---|---|---|----|--|
| 49 | | | | | | | | | X | | | | | | | | | | X | | 0 | 4 | | |
| 50 | | | | | | | | | | | | | | X | | | | | | | | 0 | 5 | |
| 51 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | X | | | 0 | 4 | |
| 52 | | | | X | | | | | | | | | | | | | | | | | | 3 | 2 | |
| 53 | | | | | | | | | | | | | | X | | | | | | | | 0 | 7 | |
| 54 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 0 | 1 | |
| 55 | | | | X | | | | X | | | | | | | | | | | X | | | 0 | 1 | |
| 56 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | X | | 0 | 12 | |
| 57 | | | | | | | | | | | | | | X | | | | | | | | 0 | 4 | |
| 58 | | | | | | | | | | | | | | X | | | | | | | | 0 | 12 | |
| 59 | | | | | | | | | | | | | X | | | | | | | | | 0 | 3 | |
| 60 | | | | | | | | | | | | | | X | | | | | | | | 3 | 7 | |
| 61 | | | | | | | | X | | | | | | | | | | | | X | | 3 | 7 | |
| 62 | | | | | | | | X | | | | | | X | | | | | | | | 1 | 2 | |
| 63 | | | | | | | | | | | | | X | | | X | | | X | X | | 6 | 6 | |
| 64 | | | | | | | | | | | | | | | | | X | | | | | 0 | 1 | |