



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE TECNOLOGIA  
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL**



**EMILLY DE MELO SARDINHA**

**Avaliação objetiva de pavimentos pelo método IGG/DNIT. Estudo de caso, rodovias de  
acesso ao porto do Arapari, a partir de Abaetetuba-PA**

**BELÉM – PA**

**2024**

**EMILLY DE MELO SARDINHA**

**Avaliação objetiva de pavimentos pelo método IGG/DNIT. Estudo de caso, rodovias de acesso ao porto do Arapari, a partir de Abaetetuba-PA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia Civil do Instituto de Tecnologia da Universidade Federal do Pará, Campus Universitário de Abaetetuba, como requisito final para obtenção do título de Bacharela em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Figueiredo Massulo Aguiar

**BELÉM – PA**

**2024**


**EMILLY DE MELO SARDINHA**

**Avaliação objetiva de pavimentos pelo método IGG/DNIT. Estudo de caso, rodovias de acesso ao porto do Arapari, a partir de Abaetetuba-PA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia Civil do Instituto de Tecnologia da Universidade Federal do Pará, Campus Universitário de Abaetetuba, como requisito final para obtenção do título de Bacharela em Engenharia Civil.


Belém, 29 de novembro de 2024.

**Examinadores**

Documento assinado digitalmente  
 **MARCELO FIGUEIREDO MASSULO AGUIAR**  
Data: 04/12/2024 19:06:01-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>


---

**Prof. Dr. Marcelo Figueiredo Massulo Aguiar** Universidade Federal do Pará - UFPA Orientador

Documento assinado digitalmente  
 **MARCUS VINICIUS GUERRA SERAPHICO DE ASSI**  
Data: 05/12/2024 09:09:49-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

**Professor Dr. Marcus Vinicius Guerra Seraphico de Assis Carvalho** Universidade Federal do Pará - UFPA  
Examinador

Documento assinado digitalmente  
 **SHARA KATHARINE MELO SILVA PORTILHO**  
Data: 05/12/2024 07:27:15-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

**Professora Esp. Shara Katharine Melo Silva Portilho** Universidade Federal do Pará - UFPA  
Examinadora

Dedico este trabalho à minha avó Raimunda e ao meu tio Edinho. Suas almas, estrelas que me guiaram mesmo sob céus nublados, me trouxeram até aqui. Que o céu celebre o amor eterno.

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a Deus e Maria Imaculada, por me manterem de pé mesmo diante às dificuldades encontradas pelo caminho, me dando conforto nos momentos difíceis, força e coragem para continuar.

Sou grata aos meus pais, Esmerino e Enide, meus maiores incentivadores, que, apesar de receosos com minha saída de casa aos 17 anos, nunca deixaram de me apoiar, sempre acreditando em mim com orgulho e oferecendo todo o suporte necessário para que eu realizasse meus sonhos. Vocês são minha maior fortaleza, e espero um dia retribuir a vocês de forma honrosa e digna.

Agradeço também aos meus tios, Edileuza e Tadeu, que se tornaram meus pais durante toda a trajetória acadêmica, acolhendo-me em Belém e cuidando com tanto zelo e dedicação. Sem vocês, esses anos se tornariam ainda mais difíceis, obrigada por nunca deixar que nada me faltasse, principalmente a companhia.

Ao meu irmão, Ermeson, agradeço por ser fonte de inspiração, compartilhar ideias e ideais, e sempre me motivar a seguir em frente. Ao meu irmão, Thiago, por toda amizade, companheirismo e parceria que cultivamos desde a infância.

Com todo carinho, agradeço ao meu namorado e melhor amigo, Júnior, por ser meu alicerce quando tudo parecia ruir, manter-me firme mesmo em momentos de ansiedade ou desespero. Por lembrar-me da minha força e fé, por dividir a vida comigo em todos os âmbitos e estar presente em cada etapa da minha jornada acadêmica. Minha gratidão e amor por você são enormes e essa conquista também é sua.

Agradeço aos meus avós paternos, Lourenço e Raimunda (*in memoriam*), e maternos, Santana e Gerinaldo, que desde cedo me ensinaram valores de vida, amor ao próximo e fé em Deus. Em especial, minha vó Raimunda, a qual recorro em oração em todos os momentos felizes e tristes e, daria tudo para tê-la ao meu lado nessa e em todas conquistas.

Aos meus amigos de graduação, Samuel e Felipe, que completaram essa jornada mais leve e feliz, minha sincera gratidão. Aos meus colegas da Building Engenharia Júnior, especialmente Diogo e Jonathas, que foram essenciais na minha vivência acadêmica, promovendo meu crescimento e sempre me apoiando.

Finalmente, meus agradecimentos ao meu orientador, professor Marcelo Massulo, por aceitar esse desafio, impulsionando-me a manter o foco e despertar em mim o apreço pela área de transportes, além de orientar-me de forma didática, entusiasmada e inspiradora.

Que eu possa honrar cada um de vocês em cada vitória futura.

## RESUMO

SARDINHA, Emilly de Melo. **Avaliação objetiva de pavimentos pelo método IGG/DNIT. Estudo de caso, rodovias de acesso ao porto do Arapari, a partir de Abaetetuba-PA.** 2024. 83f. Trabalho de Conclusão do Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal do Pará, Belém.

As rodovias desempenham um papel crucial no sistema viário brasileiro, sendo diretamente associadas ao crescimento socioeconômico do país. Para garantir conforto e eficiência no transporte, é essencial manter suas condições de serviço adequadas. Nesse contexto, o Sistema de Gerência de Pavimentos (SGP) se destaca como uma ferramenta indispensável, permitindo a tomada de decisões assertivas com base em dados objetivos. Assim, o presente trabalho teve como objetivo identificar o índice de gravidade global (IGG) das rodovias PA-252 e PA-151, que fazem parte da rota rodoviária Abaetetuba-Belém, via porto do Arapari. A pesquisa incluiu inspeções in loco em três trechos, com aplicação do método IGG/DNIT para determinar a condição do pavimento em cada segmento. Os resultados indicaram que o IGG médio das rodovias comprovado foi de 142,01, classificando o pavimento em condição ruim. O trecho mais crítico apresentou IGG de 210,46 conceituado como péssimo, enquanto o melhor trecho registrado IGG de 94,2 (ruim). Entre os principais defeitos identificados, destacam-se o desgaste (64,67%), remendos (35,33%), trincas transversais curtas (35,33%) e trincas longitudinais curtas (33,33%). Com base nas análises realizadas, foram propostas soluções para manutenção e restauração da superfície asfáltica, desde selagem de trincas até reabilitação completa com fresagem profunda, a fim de melhorar as condições da malha viária. Com isso, o estudo afirma a importância do IGG no planejamento de instruções que ampliem a vida útil das rodovias e impulsionem o desenvolvimento regional.

Palavras-chave: Conservação de rodovias; defeitos em pavimentos flexíveis; método do IGG; avaliação da condição da superfície de rolamento;

## ABSTRACT

SARDINHA, Emilly de Melo. **Avaliação objetiva de pavimentos pelo método IGG/DNIT. Estudo de caso, rodovias de acesso ao porto do Arapari, a partir de Abaetetuba-PA.** 2024. 83f. Trabalho de Conclusão do Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal do Pará, Belém.

Highways play a crucial role in the Brazilian road system, being directly associated with the country's socioeconomic growth. To ensure comfort and efficiency in transportation, it is essential to maintain their service conditions adequately. In this context, the Pavement Management System (PMS) stands out as an indispensable tool, enabling assertive decision-making based on objective data. This study aimed to determine the Global Severity Index (IGG) of the PA-252 and PA-151 highways, part of the Abaetetuba-Belém route via the Arapari port. The research involved on-site inspections in three sections, using the IGG/DNIT method to assess pavement conditions in each segment. The results showed an average IGG of 142.01 for the highways, classifying the pavement as poor. The most critical section recorded an IGG of 210.46, rated as very poor, while the best section had an IGG of 94.2, still classified as poor. The main defects identified included wear (64.67%), patches (35.33%), short transverse cracks (35.33%), and short longitudinal cracks (33.33%). Based on the analyses, solutions were proposed for asphalt surface maintenance and restoration, ranging from crack sealing to complete rehabilitation with deep milling, aiming to improve road network conditions. Thus, the study highlights the importance of IGG in planning interventions that extend highway lifespan and promote regional development.

Keywords: Highway maintenance; flexible pavement defects; IGG method; assessment of riding surface condition.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Identificação dos trechos analisados.....	13
Figura 2 - O Sistema de Gerenciamento de Pavimentos .....	17
Figura 3 - Estratégias de M&R nas etapas de um Sistema de Gerência de Pavimentos .....	19
Figura 4 - Conceito serventia-desempenho .....	21
Figura 5 - Ficha para avaliação de Serventia.....	22
Figura 6 - Planilha para avaliação da condição dos pavimentos .....	23
Figura 7 - Árvore de decisão para deformações permanentes nas trilhas de roda.....	25
Figura 8 - Ciclo de vida típico do pavimento .....	26
Figura 9 - Demarcação de áreas para inventário de defeitos .....	31
Figura 10 - Localização da Cidade de Abaetetuba .....	36
Figura 11 - PA-252 .....	38
Figura 12 - PA-151 .....	38
Figura 13 - Fluxograma do Método.....	39
Figura 14 - Trecho 1, Abaetetuba-Colônia Velha .....	40
Figura 15 - Trecho 2, Colônia Velha - Alça Viária .....	40
Figura 16 - Trecho 3, Alça Viária - Porto do Arapari .....	41
Figura 17 - Seção 1, Abaetetuba – Colônia Velha .....	42
Figura 18 - Seção 2, Colônia Velha - Alça Viária.....	42
Figura 19 - Seção 3, Alça Viária - Arapari.....	43
Figura 20 - Tráfego trecho 3.....	45
Figura 21 - Tráfego trecho 1 .....	45
Figura 22 - Tráfego trecho 2.....	46
Figura 23 – Treliça Metálica para aferição das flechas na trilha de roda.....	48
Figura 24 – Defeitos encontrados no trecho crítico (estação 16) .....	58
Figura 25 - Defeitos encontrados no trecho crítico (estação 9).....	59
Figura 26 - Defeitos encontrados no trecho crítico (estação 6).....	59
Figura 27 – Defeitos encontrados no trecho 3 (estação 1) .....	61
Figura 28 – Defeitos encontrados no trecho 3 (estação 11) .....	61
Figura 29 – Defeitos encontrados no trecho 3 (estação 12) .....	62
Figura 30 - Desgaste .....	65
Figura 31 - Trincas isoladas.....	66
Figura 32 - Trincas na borda do remendo .....	66

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Defeitos nos pavimentos .....	28
Tabela 1 - Defeitos nos pavimentos .....	29
Tabela 2 - Valor do Fator de Ponderação e Codificação dos Defeitos.....	31
Tabela 3 - Conceitos de degradação do pavimento .....	33
Tabela 4 - Inventário de rede e cotas .....	44
Tabela 5 - Adaptação do Inventário DNIT (2003b) .....	50
Tabela 6 - Planilha de Cálculo do IGG, trecho 1 .....	51
Tabela 7 - Planilha de Cálculo do IGG, trecho 2 .....	52
Tabela 8 - Planilha de Cálculo do IGG, trecho 3 .....	53
Tabela 8 - Planilha de Cálculo do IGG, trecho 3 .....	54

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Defeitos mais e menos frequentes no percurso total .....	63
Gráfico 2 - Defeitos mais e menos frequentes no trecho 1.....	63
Gráfico 3 - Defeitos mais e menos frequentes no trecho 2.....	64
Gráfico 4 - Defeitos mais e menos frequentes no trecho 3.....	64

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
1.1	Objetivo .....	13
1.1.1	Objetivo Geral .....	13
1.1.2	Objetivos específicos.....	13
1.2	Justificativa .....	14
1.3	Estrutura do Trabalho .....	15
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
2.1	Sistema de Gerência de Pavimentos .....	16
2.1.1	Importância.....	17
2.1.2	Níveis do SGP .....	18
2.1.3	Principais etapas do SGP.....	19
2.1.4	Avaliação do pavimento .....	20
2.1.5	Atividade manutenção e reabilitação (M&R).....	24
2.2	Índice de Gravidade Global (IGG) .....	26
2.2.1	Defeitos dos pavimentos flexíveis.....	27
2.2.2	Defeitos x Umidade .....	29
2.2.3	Método do DNIT para cálculo do IGG.....	30
2.3	Estudos que investigaram o cálculo do IGG em rodovias/vias brasileiras .....	33
3	MÉTODO.....	36
3.1	Caracterização da área de estudo .....	36
3.2	Descrição do Método .....	39
3.2.1	Codificação dos trechos.....	39
3.2.2	Inventário de rede .....	43
3.2.3	Formulário de campo e coleta de dados .....	46
3.2.4	Cálculo do IGG.....	48
3.2.5	Análise de dados.....	49

3.2.6	Atividades de manutenção e reabilitação a serem aplicadas na rodovia .....	49
4	APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS .....	50
4.1.	Cálculo do IGG.....	50
4.2.	Análise dos dados .....	55
4.1.1	Trecho crítico.....	55
4.1.2	Defeitos mais e menos frequentes .....	62
4.3.	Correlação entre IGG e classificação do volume de tráfego.....	67
4.4.	Propostas de atividades de manutenção e reabilitação (M&R) das rodovias .....	68
4.5.	Considerações finais .....	70
5	CONCLUSÃO.....	72
5.1.	Sugestões para trabalhos futuros .....	73
	REFERÊNCIAS .....	74
	ANEXO A .....	78
	APÊNDICE A .....	79

## 1 INTRODUÇÃO

A qualidade do sistema rodoviário desempenha um papel crucial no desenvolvimento regional, influenciando diretamente a eficiência do transporte de passageiros e cargas. De acordo com Fernandes Júnior, Oda e Zerbini (1999), rodovias bem conservadas são essenciais para reduzir custos operacionais e promover o crescimento econômico, facilitando o acesso a mercados, serviços e oportunidades. Nesse contexto, a implementação de um sistema de gerência de pavimentos torna-se indispensável para garantir que os recursos públicos, sempre limitados, sejam utilizados de maneira eficaz, resultando em um retorno adequado sobre os investimentos realizados.

No cenário global, a manutenção e reabilitação de pavimentos são fundamentais para prolongar a vida útil das rodovias e assegurar que elas atendam as crescentes demandas do transporte moderno. Sistemas de gerência de pavimentos, como apontado por Haas et al. (1978), oferecem dados importantes que permitem identificar falhas, priorizar intervenções e alocar recursos de maneira estratégica, minimizando os impactos negativos de pavimentos deteriorados sobre a economia e a sociedade.

Focalizando o município de Abaetetuba-PA observa-se que a qualidade das rodovias é ainda mais determinante para o aproveitamento de seus potenciais econômicos. Abaetetuba possui uma economia diversificada, com forte presença nos setores de pesca, agricultura e comércio. Diante disso, o desenvolvimento pleno dessas atividades depende de um sistema viário que conecte de maneira eficiente o município à capital, Belém-PA, e a outras regiões de escoamento da produção.

A relevância de um sistema viário bem estruturado para o desenvolvimento regional é amplamente discutida na literatura. Queiroz (2017) destaca que a infraestrutura de transporte rodoviário é crucial para o crescimento econômico no Brasil, pois investimentos nesse setor podem reduzir custos e aumentar a rentabilidade das atividades econômicas. Um sistema viário adequado, que ofereça segurança e conforto aos usuários, é vital para que Abaetetuba alcance seus objetivos de desenvolvimento econômico e social. No entanto, a realidade atual das rodovias que servem ao município exige uma análise detalhada de suas condições, com foco na identificação e quantificação de defeitos nos pavimentos.

Para compreender melhor a situação das rodovias que ligam Abaetetuba à Belém, é imprescindível coletar dados objetivos sobre a condição dos pavimentos. Esses dados incluem a identificação dos tipos e frequência de defeitos presentes, suas extensões e severidades. A análise desses aspectos será realizada em fragmentos das rodovias PA-252 e PA-151 (neste

trabalho dividida em dois trechos), que compõem a rota de acesso ao município via porto do Arapari (Figura 1). A coleta de dados sobre a condição dos pavimentos é a base para a implementação de um sistema de gerência de pavimentos eficiente, possibilitando a proposição de medidas corretivas e preventivas. A partir desses dados, será possível avaliar a necessidade de intervenções de manutenção e reabilitação, contribuindo para a melhoria do sistema viário da região.

Figura 1 - Identificação dos trechos analisados



Fonte: Google Maps, 2024.

## 1.1 Objetivo

### 1.1.1 Objetivo Geral

Identificar o índice de gravidade global (IGG) das rodovias PA-252 e PA-151, que fazem parte da rota rodoviária Abaetetuba-Belém, via porto do Arapari, conforme norma DNIT 006/2003 - PRO.

### 1.1.2 Objetivos específicos

O estudo tem como objetivos específicos:

- Identificar os defeitos mais e menos frequentes nos pavimentos analisados.
- Determinar os trechos com melhor e pior condição de pavimento.
- Correlacionar o IGG com o volume de tráfego em cada trecho.
- Propor atividades de manutenção e reabilitação (M&R) para os trechos críticos.

## 1.2 Justificativa

Este estudo se destaca por seu caráter pioneiro, uma vez que poucos trabalhos na área abordam de forma técnica a condição dos pavimentos em rodovias de acesso a municípios do interior do Pará. A gerência de pavimentos, fundamentada em uma avaliação rigorosa da qualidade dos pavimentos, é uma ferramenta indispensável para a melhoria da malha viária, permitindo que os investimentos sejam realizados de maneira mais eficaz e com menor custo. A implementação de um Sistema de Gerência de Pavimentos (SGP) pode trazer significativos benefícios para a infraestrutura rodoviária, contribuindo para o desenvolvimento sustentável de Abaetetuba e de outras regiões dependentes de um sistema viário robusto.

O presente trabalho tem como objetivo estudar as rodovias de acesso a Belém, pelo porto do Arapari. A escolha deste local se deve ao fato de ser uma essencial via de transporte coletivo e privado, atendendo a uma demanda diária alta de usuários (passageiros), além do transporte de cargas. As rodovias estudadas também possibilitam o acesso ao porto de Vila do Conde, que desempenha um papel estratégico na logística regional e nacional, sendo essencial para o escoamento de produtos agrícolas, minerais e industriais. A acessibilidade ao porto é fundamental para a eficiência da cadeia logística e o desenvolvimento econômico da região, destacando a importância de vias bem conservadas e capazes de suportar o elevado volume de tráfego.

Reconhece-se que o pavimento atual das rodovias de acesso apresenta diversas patologias estruturais, que comprometem a segurança e o conforto dos usuários, além de impactar negativamente a fluidez do transporte de cargas. Assim, este estudo justifica-se pela necessidade de conservação e manutenção da infraestrutura viária, de forma a garantir um sistema seguro, confortável e economicamente eficiente.

Outro aspecto relevante que fortalece a justificativa é que um dos trechos que serão analisados foi recentemente concedido à iniciativa privada. A coleta de dados atual poderá servir como base comparativa, possibilitando análises do tipo antes e depois da concessão. Esse recurso é essencial para avaliar a efetividade dos investimentos e intervenções realizadas, contribuindo para o planejamento de ações futuras que atendam melhor às necessidades de conservação e aperfeiçoamento da infraestrutura viária.

### **1.3 Estrutura do Trabalho**

Este trabalho está estruturado em cinco capítulos. Além desta introdução, os demais capítulos estão descritos a seguir:

- **Revisão Bibliográfica:** Explora os conceitos teóricos e estudos anteriores relacionados à gerência de pavimentos, à análise de defeitos rodoviários e o método IGG.
- **Método:** Descreve os procedimentos utilizados para a coleta e análise dos dados sobre a condição dos pavimentos nas rodovias estudadas.
- **Resultados:** Apresenta os achados da pesquisa, incluindo o IGG dos trechos analisados e suas correlações.
- **Conclusão:** Discute os resultados, propondo medidas para a manutenção e reabilitação das rodovias, e sugere possíveis caminhos para pesquisas futuras.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Este capítulo apresenta uma revisão bibliográfica sobre temas relacionados ao foco principal do estudo. São explorados tópicos como a compreensão do sistema de gerência de pavimentos e as atividades a ele vinculadas. Além disso, aborda-se o método do DNIT, que especifica as diretrizes para o cálculo do IGG. Por fim, são apresentadas pesquisas com estudos de caso que se conectam com o tema deste trabalho.

### **2.1 Sistema de Gerência de Pavimentos**

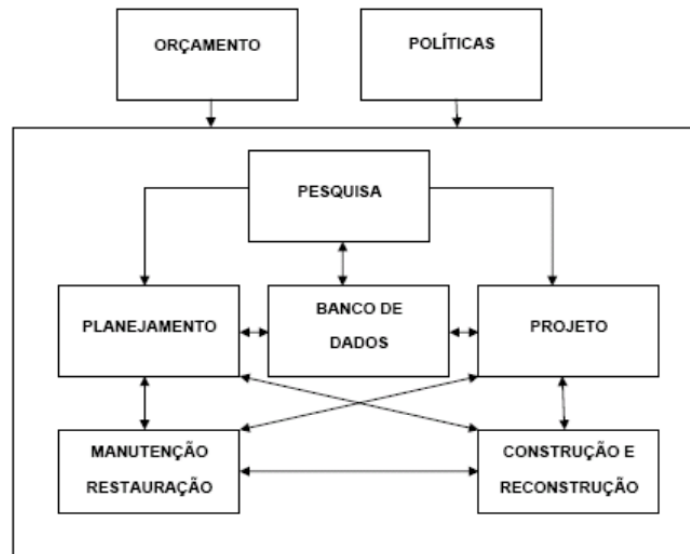
O DNIT (2011, p. 35) define o Sistema Pavimento como: “um conjunto de componentes que interagem mutuamente. Os componentes deste Sistema (revestimento, base, sub-base e subleito) são submetidos a fatores externos, como o tráfego, as operações de manutenção e as condições ambientais”.

De acordo com Haas et al. (1994), um sistema de gerência de pavimentos (SGP) é composto por uma série de atividades integradas e coordenadas que englobam o planejamento, a construção, a manutenção, a avaliação e a pesquisa. Essas atividades são associadas a um banco de dados com o objetivo de otimizar os recursos disponíveis, estabelecendo programas de manutenção que visam proporcionar conforto e segurança aos usuários.

Segundo a AASHTO (2001), um Sistema de Gerência de Pavimentos (SGP) funciona como uma ferramenta essencial na tomada de decisões. Ele oferece uma estrutura organizada para a coleta, armazenamento, análise e relato de informações sobre as condições dos pavimentos, permitindo determinar com precisão as necessidades de manutenção e reabilitação.

Na Figura 2, tem-se a representação da estruturação de um SGP, segundo o DNIT.

Figura 2 - O Sistema de Gerenciamento de Pavimentos



Fonte: DNIT, 2011

### 2.1.1 Importância

Um Sistema de Gerência de Pavimentos (SGP) foi criado para proporcionar uma administração eficiente dos recursos financeiros, garantindo um equilíbrio entre os recursos disponíveis e os serviços oferecidos, levando em conta a complexidade dos problemas e as adaptações às condições locais. O SGP permite uma melhor compreensão das necessidades atuais, classificando-as em diferentes níveis de prioridade e planejando as intervenções de acordo com essas necessidades identificadas. Com base na análise e na coleta de dados, o SGP possibilita o diagnóstico das condições do pavimento e a elaboração de um plano de ação.

De acordo com Fernandes Jr. (2001), os SGP possibilitam a transição de um modelo de manutenção tradicional, centrado na correção de problemas, para um sistema de manutenção planejada. Esse novo modelo não apenas resolve problemas imediatos, mas também adota medidas preventivas que prolongam a vida útil da malha viária e garantem padrões mínimos de serviço em toda a rede gerenciada.

A implementação de um SGP envolve a elaboração de estudos de recuperação, previsão do desempenho futuro, e planejamento de investimentos em um programa de manutenção. Isso melhora a gestão rodoviária e otimiza recursos, garantindo intervenções eficientes e econômicas para uma infraestrutura viária duradoura e segura.

Carvalho (2020) destaca que monitorar o desgaste dos pavimentos desde a fase de construção é fundamental para garantir padrões de segurança e conforto aos usuários, uma vez

que esses aspectos são os mais perceptíveis e importantes para a experiência dos mesmos. Quando o nível de mobilidade ultrapassa um ponto crítico, os custos de recuperação aumentam significativamente, podendo até exigir uma manutenção completa do pavimento. Nesse contexto, o uso de um Sistema de Gerenciamento de Pavimentos (SGP) facilita a execução do processo de Manutenção e Reabilitação (M&R) de forma mais eficiente, por meio de um planejamento contínuo focado em garantir as condições.

### **2.1.2 Níveis do SGP**

O SGP pode ser dividido em dois níveis: o de rede e o de projetos, os quais se complementam para uma gestão eficiente dos pavimentos, garantindo a visão global e local de cada análise.

Segundo o DNIT (2011), a gerência em nível de rede identifica os trechos da malha rodoviária que devem receber investimentos em manutenção prioritariamente, visando a maximização do retorno econômico dos recursos públicos alocados. As recomendações têm como objetivo principal a elaboração de um Programa Plurianual de Investimentos, incluindo projetos e obras a serem realizados no médio prazo.

Este nível aborda a gestão da rede de pavimentos como um todo, envolve a coleta e análise de dados para avaliar a condição geral da rede viária, estabelecer prioridades de intervenção, alocar recursos e desenvolver estratégias de manutenção e reabilitação a longo prazo. O objetivo é garantir que a rede mantenha um desempenho adequado, otimizando o uso dos recursos disponíveis e prolongando a vida útil dos pavimentos.

Ainda, o DNIT (2011) define a gerência em nível de projeto como a que envolve atividades detalhadas tanto do projeto quanto da execução de obras em trechos específicos da malha viária, subsidiando orçamentos e programas de curto prazo.

O SGP em nível de projeto destaca trechos específicos da rede com análises detalhadas e a elaboração de projetos específicos de manutenção, reabilitação ou reconstrução. Inclui a identificação de problemas locais, a seleção de métodos de intervenção adequados, e a execução de obras. O objetivo é solucionar problemas pontuais de forma eficiente e eficaz, assegurando que os trechos tratados atinjam ou mantenham os níveis de serviço desejados.

De acordo com Amekudzi e Attoh-Okine (1997), literaturas recentes introduzem um novo modelo de SGP com três níveis, diferenciando o nível de rede em nível de programa e nível de seleção de projetos, sendo o nível de programa relacionado ao planejamento e a

alocação de recursos para otimização da rede e o nível de seleção de projeto como aquele que hierarquiza projetos candidatos, levando em conta as restrições orçamentárias.

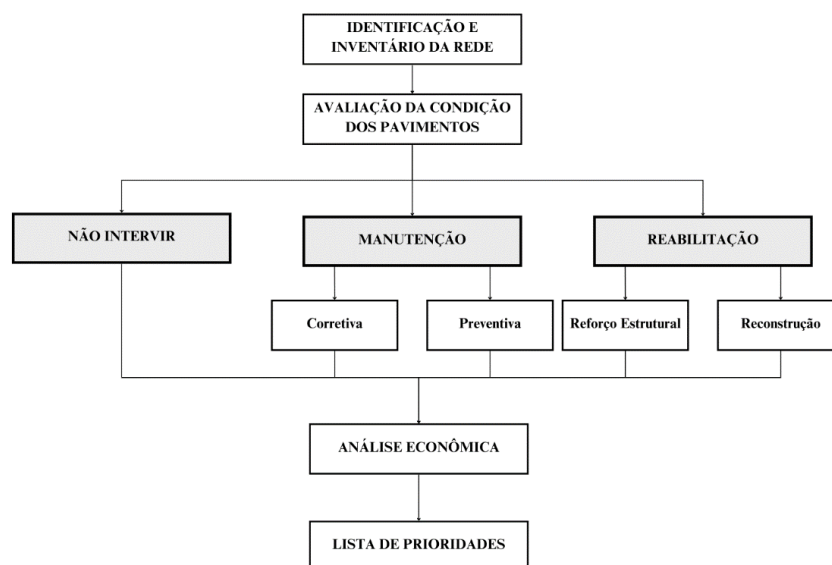
Silva e Lavor (2023) apontam que o nível de rede de um Sistema de Gerenciamento de Pavimentos (SGP) deve preceder o nível de projeto, com um banco de dados atualizado em ambas as fases, permitindo que gestores realizem continuamente a elaboração de estratégias e avaliação de alternativas. A definição de planos de projeto para diferentes períodos é essencial e pode ser guiada pelas prioridades estabelecidas no nível de rede, utilizando cenários de investimento para orientar o planejamento.

A integração desses níveis de decisão é essencial para assegurar que as estratégias estabelecidas no nível de rede sejam corretamente executadas no nível de projeto. No entanto, alcançar essa integração é complexo, pois requer a coordenação entre diversas áreas técnicas, a harmonização de interesses divergentes e a superação de obstáculos logísticos e financeiros.

### 2.1.3 Principais etapas do SGP

Na Figura 3 estão indicadas as fases de implementação de um Sistema de Gestão de Pavimentos, detalhando também as conexões entre as possíveis estratégias e atividades de manutenção e reabilitação.

Figura 3 - Estratégias de M&R nas etapas de um Sistema de Gerência de Pavimentos



Fonte: adaptado (MAPC, 1986)

Segundo o Manual de Gerência de Pavimentos do DNIT, a coleta de dados sobre o estado atual dos pavimentos é a primeira etapa na implementação de um Sistema de Gerenciamento de Pavimentos (SGP). Esses dados devem abranger as condições superficiais, defeitos estruturais e características funcionais das vias, sendo a precisão e a abrangência dessas informações fundamentais para o êxito das etapas subsequentes.

Conforme o DNIT (2011), o inventário visual da superfície dos pavimentos pode ser realizado de forma tradicional, seguindo a norma DNIT 006/2003 PRO, ou por meio de um levantamento visual contínuo informatizado. Para avaliações gerenciais, o levantamento deve focar na faixa de tráfego com mais defeitos, enquanto, para projetos, deve incluir todas as faixas de tráfego. Além de registrar os defeitos, é necessário coletar coordenadas geográficas precisas para calcular os índices de geometria vertical e horizontal. Os dados devem ser devidamente processados em relação às referências quilométricas e geográficas, contabilizados a cada 20 metros. Isso permite o cálculo do Índice de Gravidade Global (IGG), que deve considerar os fatores de ponderação estabelecidos na norma DNIT 006/2003 PRO.

As informações do inventário oferecem ao gestor uma visão abrangente da extensão da rede, incluindo os tipos de pavimento, geometria, tráfego, e condições ambientais como temperatura e umidade. O inventário deve, essencialmente, incluir dados sobre a situação atual, além de registros anteriores, como construções realizadas e atividades de manutenção executadas.

#### **2.1.4 Avaliação do pavimento**

Guha e Hossain (2022) ressaltam que, após reunir dados sobre as vias, é essencial definir os parâmetros de avaliação da condição dos pavimentos, levando em conta as características específicas das vias situadas fora do perímetro urbano e identificando os defeitos e critérios mais relevantes para esse contexto.

Segundo Bernucci et al. (2008), as avaliações dos pavimentos são fundamentais para o Sistema de Gerência de Pavimento (SGP), pois elas caracterizam a condição estrutural e funcional dos pavimentos. Através dessas avaliações, é possível diagnosticar patologias e determinar alternativas de restauração que prolonguem a vida útil dos pavimentos. Indicadores numéricos são utilizados para classificar a situação geral da rodovia com base nos levantamentos da condição da superfície e das estruturas.

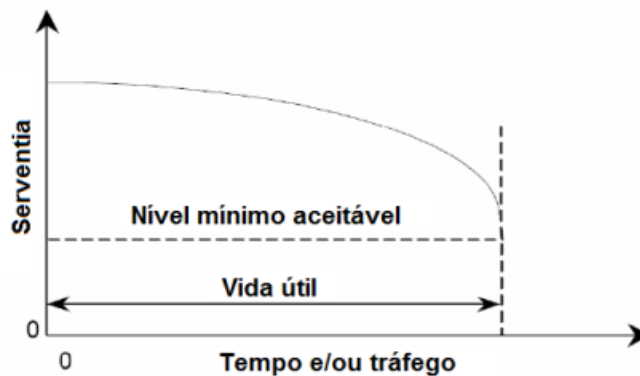
De acordo com a finalidade da avaliação, os recursos disponíveis, e a extensão do trecho a ser avaliado, esta pode ser realizada de forma subjetiva (Superfície de Rolamento) e/ou objetiva (Condição dos Pavimentos).

Bernucci et al. (2022) destacam que, do ponto de vista do usuário, o estado da superfície do pavimento é crucial, pois defeitos ou irregularidades afetam diretamente o conforto durante a viagem. Quando o conforto diminui, o desgaste do veículo aumenta, gerando custos adicionais com manutenção, consumo de combustível, desgaste dos pneus e tempo de viagem.

Segundo Carey e Irick (1960), é possível avaliar de forma subjetiva o conforto ao trafegar por um determinado trecho e identificar os principais defeitos ou deficiências do pavimento. Na avaliação subjetiva, utilizam o conceito de serventia, desenvolvido durante o AASHO Road Test, que Haas e Hudson (1978) afirmam estar diretamente ligada ao propósito fundamental do pavimento, que é garantir um tráfego confortável e seguro para os usuários.

O desempenho do pavimento é dado por sua capacidade de servir o tráfego de forma satisfatória durante um período de tempo em uma escala de serventia (Figura 4).

Figura 4 - Conceito serventia-desempenho



Fonte: adaptado (Fernandes et al., 1999)

No Brasil, a norma DNIT-PRO 009/2003, estabelecida pelo DNIT, padroniza o valor de serventia atual. Segundo essa norma, a avaliação subjetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semirrígidos deve ser realizada por um grupo de cinco avaliadores treinados, que percorrem o trecho a ser avaliado em um veículo, mantendo-se próximos à velocidade limite legal. Para cada seção, a avaliação é registrada em ficha (Figura 5), com uma escala de 0 (péssimo) a 5 (ótimo). A média aritmética dessas avaliações subjetivas de serventia resulta no Valor de Serventia Atual, conhecido como PSR (Present Serviceability Rating).

Figura 5 - Ficha para avaliação de Serventia

ACEITÁVEL?		5	ÓTIMO
Sim	<input type="checkbox"/>	4	BOM
Não	<input type="checkbox"/>	3	REGULAR
Indeciso	<input type="checkbox"/>	2	RUIM
		1	PÉSSIMO
		0	

Identificação da Seção: \_\_\_\_\_ NOTA: \_\_\_\_\_  
 Avaliador: \_\_\_\_\_  
 Data: \_\_\_\_\_ Hora: \_\_\_\_\_ Veículo: \_\_\_\_\_

Fonte: adaptado (Carey e Irick, 1960)

A avaliação objetiva, por sua vez, tem a finalidade de identificar os defeitos que contribuem para a deterioração do pavimento, classificando-os por tipo, severidade e extensão. Para isso, são utilizados instrumentos especializados que determinam as propriedades físicas e mecânicas do pavimento. Diversos índices podem ser empregados para quantificar essa condição, como: o Índice de Condição da Manutenção (ICM), conforme a Resolução nº 5/2022 do DNIT; o Índice de Condição de Pavimento (ICP), adaptação feita por Bertollo em 1997; e o Índice de Gravidade Global (IGG), descrito na norma DNIT 006/2003-PRO.

Para o cálculo do Índice de Condição da Manutenção (ICM), cada trecho da rodovia, correspondente a cada quilômetro, é classificado em uma das seguintes categorias: bom ( $ICM < 30$ ), regular ( $30 < ICM < 50$ ), ruim ( $50 < ICM < 70$ ) ou péssimo ( $ICM > 70$ ). O cálculo final do ICM é composto por dois índices: o Índice de Pavimentação (IP), que considera fatores como panelas, remendos e trincas, contribuindo com 70% do valor total, e o Índice de Conservação (IC), que inclui aspectos como roçada, drenagem e sinalização horizontal e vertical, correspondendo aos 30% restantes (DNIT, 2022).

SHAHTN & KOHN (1979), pesquisadores do Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos, criaram um método para avaliar a condição dos pavimentos, utilizando um índice conhecido PCI (Pavement Condition Index) em inglês. O índice de condição de pavimento (ICP) é a forma que o PCI apareceu proposto em português (Bertollo, 1997) por meio de uma adaptação do Instituto do Asfalto (1981). O ICP varia de 0 a 100, com o valor 100 indicando uma condição excelente. Para calcular o ICP, são considerados 15 defeitos no programa SHRP, além dos níveis de severidade (baixa, média e alta) e a densidade dos defeitos

(percentual da área total do pavimento). A avaliação da superfície é realizada por amostragem, onde os defeitos são registrados em planilha (Figura 6) durante uma inspeção feita a pé.

Figura 6 - Planilha para avaliação da condição dos pavimentos

<b>PLANILHA PARA AVALIAÇÃO DE PAVIMENTOS</b>	
Rodovia ou Rua: _____	Município ou Cidade: _____
Código da Seção: _____	
Extensão: _____	Largura: _____
Tipo de Pavimento: _____	Data: _____
<b><u>DEFEITOS</u></b>	<b><u>AVALIACÃO</u></b>
1. Trincas por Fadiga	0-15 _____
2. Trincas em Blocos	0-5 _____
3. Trincas nos Bordos	0-5 _____
4. Trincas Longitudinais	0-5 _____
5. Trincas por Reflexão	0-5 _____
6. Trincas Transversais	0-5 _____
7. Remendos	0-5 _____
8. Pannels	0-10 _____
9. Deformação Permanente nas Trilhas de Roda	0-15 _____
10. Corrugação	0-5 _____
11. Exsudação	0-5 _____
12. Agregados Polidos	0-5 _____
13. Desgaste	0-5 _____
14. Desnivel Pista - Acostamento	0-5 _____
15. Bombeamento	0-5 _____
	<b>Soma dos Defeitos:</b> _____
<b>Índice de Condição do Pavimento:</b> $ICP = 100 - \text{Soma dos Defeitos}$	
	$ICP = 100 -$ _____
	<b>ICP =</b> _____

Fonte: adaptada (Instituto do Asfalto, 1981)

A Norma DNIT 006/2003-PRO, intitulada "Avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semirrígidos", define os parâmetros para a aplicação do método do IGG. Esse método visa determinar um valor numérico que reflete a condição do pavimento, variando de 0 (ótimo) a 160 (péssimo). O IGG avalia a presença de defeitos nas seções analisadas e níveis de severidade, sem quantificar sua extensão. Segundo Pereira (1976), o valor do IGG reflete o impacto combinado de diversas deficiências estruturais na condição da superfície do pavimento.

### **2.1.5 Atividade manutenção e reabilitação (M&R)**

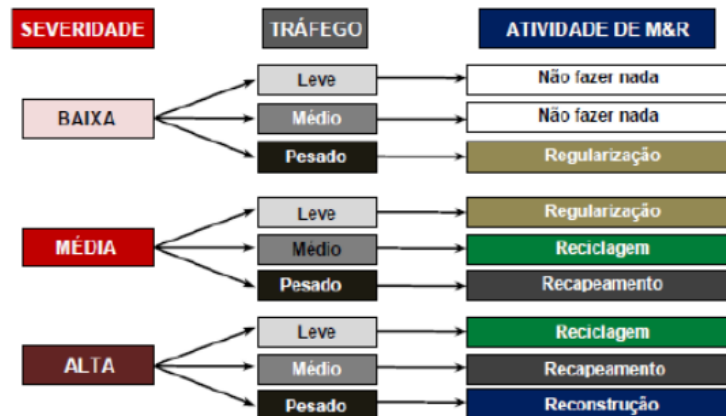
Após a avaliação, realiza-se a análise de prioridade das seções, utilizando, por exemplo, Índices de Prioridade (IP). Para cada seção, é definida uma estratégia de manutenção e reabilitação no nível da rede, com opções que geralmente incluem, conforme Fernandes Júnior, Oda e Zerbini (1999): Não Fazer Nada (NF), Manutenção Preventiva (MP), Manutenção Corretiva (MC), Reforço (RF) e Reconstrução (RC). Em seguida, passa-se para o detalhamento no nível de projeto, com a seleção da atividade de M&R e, se necessário, seu dimensionamento. Por fim, ocorre a implementação da atividade escolhida.

Segundo Pires (2019), as técnicas de manutenção têm como objetivo principal preservar a vida útil do pavimento, assegurando sua funcionalidade e segurança, com intervenções como remendos e aplicação de capa selante, que mantêm o nível de serventia da estrutura. Em contraste, as técnicas de reabilitação visam prolongar a vida útil do pavimento, elevando sua serventia ao máximo e preparando-o para um novo ciclo de deterioração. O recapeamento é indicado quando a base do pavimento ainda está em boas condições, enquanto a reconstrução é necessária quando toda a estrutura precisa ser substituída.

Conforme Oda (2016) menciona, ao escolher as atividades a serem realizadas, seja manutenção, reabilitação ou reconstrução, é importante utilizar diversos métodos de avaliação para definir as melhores estratégias. Entre esses métodos estão a Matriz, que associa defeitos específicos a estratégias de manutenção e reparo (M&R) apropriadas; a Árvore de Decisão, que analisa variáveis essenciais para a escolha das estratégias de M&R; o Método do Custo do Ciclo de Vida, que seleciona estratégias baseadas nos custos totais durante o período de análise, como construção, manutenção e reabilitação; e o Método de Otimização, que busca maximizar os benefícios para os usuários, melhorar o desempenho da rede e minimizar os custos totais.

De acordo com Fernandes Jr. e Pantigoso (1998), a seleção das atividades de manutenção e reabilitação de pavimentos é guiada por uma "árvore de decisão" que considera vários fatores, incluindo os tipos de defeitos presentes (como o nível de severidade e extensão) e o volume de tráfego, especialmente quando este contribui para o surgimento dos defeitos. As atividades selecionadas podem variar desde não realizar nenhuma intervenção até medidas como a aplicação de capa selante, lama asfáltica, tratamento superficial, selagem de trincas, preenchimento de buracos, remendos, regularização, drenagem, reciclagem, recapeamento, reconstrução, recomposição do acostamento, e aplicação de areia quente.

Figura 7 - Árvore de decisão para deformações permanentes nas trilhas de roda



Fonte: Fernandes Jr e Pantigoso, 1998

Apesar de as atividades de manutenção contribuírem para estender a vida útil dos pavimentos, eventualmente, será necessário realizar trabalhos de reabilitação. Quando o período projetado é ultrapassado, seja pela idade ou pela quantidade de repetições do tráfego, torna-se essencial implementar atividades de reabilitação. Estas atividades envolvem intervenções mais abrangentes, focadas na recuperação, reforço ou adaptação de pavimentos que apresentam deficiências (Fernandes Junior, Oda e Zerbini, 1999).

Segundo Fernandes Jr. (2001), a gestão de pavimentos depende do monitoramento periódico para obter informações verídicas sobre as características físicas da estrada ao longo do tempo, e da governança eficiente desses dados. Porém, retrata que com as grandes restrições econômicas e financeiras que os países em desenvolvimento atravessaram, observou-se a diminuição no ritmo de implantação de novas redes de infraestrutura viária.

De acordo com o DNIT (2011), os pavimentos rodoviários são um valioso patrimônio cuja preservação depende de uma conservação e restauração oportunas. Qualquer interrupção ou redução na intensidade ou frequência dos serviços de manutenção resulta em aumentos substanciais nos custos de operação dos veículos e na necessidade de investimentos crescentes para sua recuperação.

Na Figura 8 exibe-se um gráfico que ilustra uma curva com a vida útil do pavimento estimada em vinte anos. Conforme Zhang et al. (2010), caso não sejam realizadas atividades de manutenção e reabilitação (M&R) até o ponto correspondente a 75% da vida útil do pavimento, a estrutura pode perder mais 40% de sua qualidade em apenas 12% do período projetado. Como resultado, o custo das intervenções após esse momento pode ser até cinco vezes maior.

Figura 8 - Ciclo de vida típico do pavimento



Fonte: Zhang et al., 2010

A baixa qualidade do pavimento das rodovias pode aumentar o custo operacional do transporte em cerca de 33,1%. Além disso, em trechos onde o pavimento é considerado muito ruim, esse aumento pode chegar a 91,5%, enquanto em rodovias com pavimento em ótimas condições, não há impacto no custo operacional dos veículos (CNT, 2022).

Para Khattak e Alrashidi (2004), houve uma alteração de ênfase por parte das autoridades rodoviárias, que passaram a priorizar a preservação e a reabilitação de pavimentos existentes em vez de investir na construção de novas rodovias. A manutenção preventiva é implementada desde as fases iniciais, enquanto a manutenção corretiva é aplicada quando o pavimento já demonstra sinais de deterioração.

Com um sistema de gestão de pavimentos (SGP), é viável antecipar o desempenho futuro do pavimento, prevendo como suas condições evoluirão ao longo do tempo. Isso possibilita identificar os trechos da via que requerem intervenção, estabelecer prioridades e determinar a solução mais adequada com base em atividades de manutenção e reabilitação que atendam aos critérios de melhor custo-efetividade.

## 2.2 Índice de Gravidade Global (IGG)

O Índice de Gravidade Global (IGG) é caracterizado como um parâmetro numérico que possibilita a avaliação da deterioração de trechos de rodovia, refletindo o estado de cada trecho de forma individual e permitindo a comparação entre as condições de diferentes segmentos (Pires, 2019).

No Brasil, o Índice de Gravidade Global (IGG) é um método utilizado para avaliar de forma objetiva a condição dos pavimentos flexíveis e semirrígidos, sendo a análise feita

diretamente sobre a superfície. A nomenclatura dos defeitos observados é definida pelo DNIT (2003).

Fernandes Jr, Oda e Zerbini (1999) afirmam que a introdução do IGG trouxe um progresso significativo para a engenharia rodoviária no Brasil. Antes do IGG, as avaliações de pavimentos eram menos sistemáticas, dificultando a priorização de intervenções. O índice permitiu a criação de um método claro para identificar e quantificar os defeitos mais importantes, contribuindo para a durabilidade dos pavimentos.

O Índice de Gravidade Global (IGG) é uma medida composta que, ao atribuir pesos específicos a cada tipo de defeito e considerando a frequência relativa de ocorrência, permite classificar um trecho homogêneo de pavimento com base nos defeitos de superfície observados. O valor obtido fornece uma classificação da condição do pavimento, de acordo com a norma DNIT 006/2003-PRO.

Embora o IGG reflita as condições funcionais da superfície dos pavimentos, o conceito atribuído para classificar essas condições não deve substituir o valor calculado, uma vez que segmentos com o mesmo conceito podem apresentar valores distintos de IGG, indicando diferentes necessidades para projetos de restauração. Um diagnóstico detalhado, que considere as causas das patologias observadas, é essencial para elaborar projetos adequados de recuperação, sendo o IGG um critério complementar nesse processo (Bernucci et al., 2022).

### **2.2.1 Defeitos dos pavimentos flexíveis**

Conforme discutido por Baladi (1992) e Medina (1997) a deterioração dos pavimentos ocorre ao longo do tempo devido principalmente ao tráfego e às condições climáticas, resultando em uma variedade de defeitos que prejudicam a qualidade da via. Medina destaca o impacto das cargas por eixo e variáveis climáticas, enquanto Baladi aponta que esses defeitos podem ser atribuídos a diferentes fatores, como a qualidade da mistura asfáltica e as técnicas de construção. Compreender as causas desses defeitos é essencial para definir as melhores estratégias de manutenção e reabilitação das rodovias.

Hansen (2008) explica que os defeitos nos pavimentos são identificados por características visuais que permitem associá-los a possíveis causas. Esse entendimento facilita a escolha de soluções adequadas para cada problema. Já o grau de severidade ajuda a medir o quanto o defeito está avançado, indicando a intensidade e a urgência do reparo. Além disso, a frequência com que o defeito aparece ao longo de um trecho, geralmente expressa em

porcentagem da área afetada ou até por contagem, mostra a extensão do problema e ajuda a priorizar ações de manutenção.

O levantamento de defeitos de superfície visa identificar as ações de conservação necessárias para prevenir uma deterioração acelerada no futuro ou determinar as intervenções de restauração necessárias para melhorar o pavimento. Embora esse levantamento esteja relacionado à experiência do usuário, seu foco não é diretamente medir essa resposta, mas sim identificar os defeitos de superfície que causam a perda de qualidade da via, tanto no presente quanto no futuro (Gonçalves, 1997).

Lee (1992) aponta o desafio de padronizar o processo de identificação e registro dos defeitos na superfície do pavimento, especialmente na determinação dos parâmetros essenciais para essa avaliação. A definição de trincas por fadiga e seus níveis de severidade, por exemplo, varia entre diferentes manuais, o que evidencia a falta de consenso. Diversos documentos são utilizados como referência na avaliação da condição da superfície e na identificação de defeitos nos pavimentos, como o Strategic Highway Research Program (SHRP).

Os defeitos mencionados na Norma DNIT 006/2003-PRO estão definidos de acordo com a norma DNIT 005/2003-TER. A Tabela 1 apresenta as terminologias dos defeitos, juntamente com definições.

Tabela 1 - Defeitos nos pavimentos

(continua)

<b>Tipo</b>	<b>OK</b>	<b>Defeitos</b>	<b>Descrição</b>
1	F1	Fissuras	Abertura estreita no revestimento, orientada de forma longitudinal, transversal ou oblíqua em relação ao eixo da via, visível a olho nu apenas a uma distância menor que 1,50 m.
FCI	TTC	Trincas transversais curtas	Trinca isolada com orientação predominantemente perpendicular ao eixo da via, com extensão até 1m.
	TTL	Trincas transversais longas	Trinca isolada com orientação predominantemente perpendicular ao eixo da via, com extensão acima de 1m.
	TLC	Trincas longitudinais curtas	Trinca isolada com orientação predominantemente alinhada ao eixo da via, com extensão até 1m.
	TLL	Trincas longitudinais longas	Trinca isolada com orientação predominantemente alinhada ao eixo da via, com extensão acima de 1m.
	TRR	Trincas isoladas retração	Trinca isolada causada por retração térmica ou do material do revestimento ou base, não relacionada à fadiga.
2	J	Couro de jacaré	Conjunto de trincas interligadas, sem orientação definida, com aparência semelhante ao couro de jacaré
FCII	TB	Trincas em bloco	Conjunto de trincas interligadas que formam blocos com lados bem definidos.
3	JE	Couro de jacaré com erosão	Couro de jacaré com erosão acentuada nas bordas.
FCIII	TBE	Trincas em bloco com erosão	Bloco com erosão acentuada nas bordas.
4	ALC	Afundamento consolidação local	Resultante da consolidação desigual de camadas do pavimento ou subleito, sem ocorrência de solevamento. Extensão até 6m.

Fonte: DNIT (2003)

Tabela 2 - Defeitos nos pavimentos

(conclusão)

	ATC	Afundamento consolidação trilha	Resultante da consolidação desigual de camadas do pavimento ou subleito, sem ocorrência de levantamento. Extensão acima de 6m.
	ALP	Afundamento plástico local	Depressão provocada pela fluência plástica de camadas do pavimento ou subleito, acompanhada de levantamento. Extensão até 6m.
	ATP	Afundamento plástico trilha	Depressão provocada pela fluência plástica de camadas do pavimento ou subleito, acompanhada de levantamento. Extensão acima de 6m e localizado na trilha de roda.
5	O	Ondulação	Deformação com ondulações ou corrugações transversais na superfície do pavimento.
	P	Panela	Cavidade no revestimento formada por diversas causas, como falta de aderência entre camadas, resultando no deslocamento das camadas e podendo atingir as camadas inferiores, provocando sua desagregação.
	E	Escorregamento	Deslocamento do revestimento sobre a camada inferior, formando fendas em meia-lua.
6	EX	Exsudação	Excesso de ligante betuminoso na superfície do pavimento, resultante da migração do ligante através do revestimento.
7	D	Desgaste	Efeito causado pelo arrancamento progressivo do agregado do pavimento, resultando em aspereza superficial, provocado por esforços tangenciais do tráfego.
8	R	Remendo	Área preenchida com uma ou mais camadas de pavimento durante a operação de "tapa-buraco".

Fonte: DNIT(2003)

### 2.2.2 Defeitos x Umidade

De acordo com Fernandes Júnior, Oda e Zerbini (1999), a umidade presente nos materiais que compõem a estrutura de um pavimento tem um impacto direto em sua capacidade de suporte. Quando há um excesso de água, especialmente em camadas granulares e no subleito, ocorre uma redução significativa na resistência estrutural do pavimento. Isso resulta em uma maior suscetibilidade à formação de deformações e falhas, comprometendo a qualidade e a durabilidade da via.

Conforme apontado por Yoder e Witczak (1975), a presença excessiva de umidade nas camadas inferiores do pavimento, incluindo o subleito, provoca uma perda de rigidez nos materiais que compõem a estrutura. Essa condição favorece o aparecimento de deformações permanentes, como afundamentos e recalques, além de acelerar o processo de desgaste geral do pavimento. Assim, garantir o controle adequado do teor de umidade é essencial para preservar a integridade e prolongar a vida útil das rodovias.

De acordo com o Anuário Climatológico do Estado do Pará (2021), a análise da distribuição de chuvas revela o papel crucial da umidade na dinâmica ambiental e no uso do solo na região. As áreas metropolitanas de Belém, o Nordeste paraense e o arquipélago do

Marajó registraram os maiores índices pluviométricos, com volumes anuais variando entre 2.000 e 3.500 mm. Essas condições climáticas de alta pluviosidade e a predominância de solos tropicais, muitas vezes com baixa coesão e alta permeabilidade, agravam os impactos da umidade nos pavimentos.

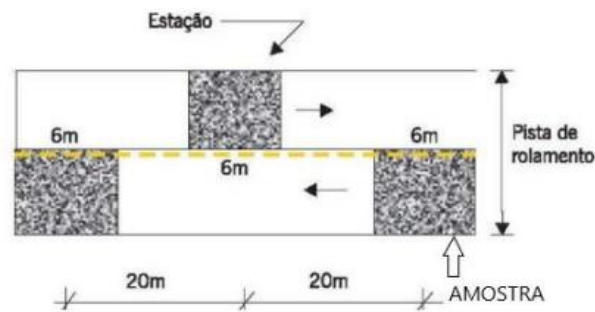
A interação constante entre as chuvas intensas e a estrutura do pavimento favorece a infiltração de água, especialmente em rodovias com sistemas de drenagem inadequados ou inexistentes. Essas características climáticas e geológicas tornam fundamental o desenvolvimento de soluções adaptadas às especificidades regionais, como o uso de materiais resistentes à umidade, técnicas construtivas apropriadas e sistemas eficientes de drenagem, para garantir a durabilidade e funcionalidade das rodovias paraenses.

### **2.2.3 Método do DNIT para cálculo do IGG**

O Índice de Gravidade Global é uma medida que combina diferentes defeitos para classificar a condição de um trecho uniforme do pavimento, atribuindo um valor numérico que reflete seu estado geral. Esse método é recomendado pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), conforme a especificação DNIT 006/2003, que descreve os procedimentos necessários para identificar defeitos visíveis e deformações permanentes nas trilhas de rodas (Macena, 2019).

Conforme a especificação DNIT 007/2003 referente ao inventário de defeitos em superfícies para estudos e projetos, a área de análise deve ser definida pelas bordas da faixa de tráfego e por duas seções transversais, localizadas 3,0 metros antes e 3,0 metros depois da estação em questão, abrangendo assim uma área de 6 metros entre cada estação. Nas rodovias de pista simples, a demarcação dos trechos selecionados é feita a cada 20 metros, de forma alternada em relação ao eixo da pista (40 metros em 40 metros em cada faixa de tráfego), utilizando tinta de marcação. A Figura 9 apresenta uma representação esquemática desse procedimento.

Figura 9 - Demarcação de áreas para inventário de defeitos



Fonte: Bernucci, 2006

O método de cálculo envolve a verificação do número de vezes em que a ocorrência foi observada, dividido pelo total de estações inventariadas. Esse resultado é denominado frequência relativa ( $f_r$ ). Em seguida, a frequência relativa é multiplicada por um fator de ponderação ( $f_p$ ), gerando o valor final do Índice de Gravidade Individual (IGI). O IGG (Índice de gravidade Global) é dado pelo somatório dos índices individuais (DNIT, 2003).

Tabela 3 - Valor do Fator de Ponderação e Codificação dos Defeitos

Tipo	Defeito	Codificação	Fator de ponderação
1	Fissuras	FI	0,2
	Trincas Isoladas Transversais Curtas	TTC	
	Trincas Isoladas Transversais Longas	TTL	
	Trincas Isoladas Longitudinais Curtas	TLC	
	Trincas Isoladas Longitudinais Longas	TLL	
2	Trincas Interligadas Tipo Couro de Jacaré com Erosão Acentuada nos Bordos	J	0,5
	Trincas em Bloco sem Erosão Acentuada nos Bordos	TB	
3*	Trincas Interligadas Tipo Couro de Jacaré sem Erosão Acentuada nos Bordos	JE	0,8
	Trincas em Bloco com Erosão Acentuada nos Bordos	TBE	
4	Afundamentos Plásticos Locais	ALP	0,9
	Afundamentos Plásticos nas Trilhas de Roda	ATP	
5	Corrugação – Ondulações Transversais	O	1,0
	Panelas	P	
6	Exsudação	EX	0,5
7	Desgaste Acentuado	D	0,3
8	Remendos Existentes (Superfície e/ou Produtos)	R	0,6

Fonte: adaptada (DNIT, 2003)

Conforme exposto na Tabela 2, o cálculo do Índice de Gravidade Global (IGG) atribui fatores de ponderação a cada tipo de defeito, levando em conta a frequência relativa de ocorrência desses defeitos ao longo das seções avaliadas. Esse processo permite que o método priorize defeitos mais críticos para a qualidade do rolamento, como os tipos 5, 4 e 3, que têm maior impacto na superfície, enquanto defeitos de menor peso, como os tipos 1 e 7, influenciam menos a condição funcional do pavimento.

Os afundamentos de trilha de rodas devem ser calculados utilizando os parâmetros estabelecidos pela norma DNIT 006/2003-PRO. Para rodovias de pista simples, é necessário calcular a média ( $\bar{x}$ ) e a variância ( $s^2$ ) das deflexões medidas nas trilhas de roda internas (TRI) e externas (TER) em ambas as faixas de tráfego. Caso haja “terceiras faixas”, esses parâmetros devem ser analisados separadamente. Já para rodovias de pista dupla, a média ( $\bar{x}$ ) e a variância ( $s^2$ ) das deflexões nas trilhas de roda internas (TRI) e externas (TER) devem ser calculadas separadamente para as faixas de tráfego mais solicitadas de cada pista.

De acordo com a norma DNIT 006/2003 – PRO, as Equações 1 e 2 são utilizadas para o cálculo da média e da variância dos valores das flechas TRI e TER são, respectivamente:

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} \quad (1)$$

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

Em que:

$x_i$  = valores individuais;

$s$  = desvio padrão dos valores das flechas medidas (TRI e TRE).

Para calcular o IGG, é necessário primeiro determinar a frequência relativa, obtida pela Equação 3. Em seguida, essa frequência é utilizada na Equação 4 para calcular o IGI, que, por sua vez, permite o cálculo final do IGG utilizando a Equação 5. Logo, tem-se:

- Frequência Relativa ( $f_r$ ):

$$f_r = \frac{f_a \times 100}{n} \quad (3)$$

Onde,

$f_a$ = frequência absoluta;

$n$ = número de estações inventariadas.

- Índice de Gravidade Individual (IGI):

$$IGI = f_r \times f_p \quad (4)$$

Onde,

$f_r$ = frequência relativa;

$f_p$ = fator de ponderação.

- Índice de Gravidade Global (IGG):

$$IGG = \sum IGI = \sum f_r \times f_p = \sum \frac{f_a \times 100}{n} \times f_p \quad (5)$$

Após o cálculo do IGG, pode-se o correlacionar com a qualidade do pavimento avaliado, por meio da Tabela 3 (DNIT, 2003). Os parâmetros de avaliação variam de 0 a 160, onde 0 indica uma condição ótima e 160 representa o pior estado da superfície, classificado como péssimo.

Tabela 4 - Conceitos de degradação do pavimento

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, 2003

### 2.3 Estudos que investigaram o cálculo do IGG em rodovias/vias brasileiras

Silva (2019), discute a avaliação superficial de pavimentos utilizando o método do Índice de Gravidade Global (IGG). No estudo, foram avaliadas duas faixas da Avenida

Anhanguera, em Goiânia-GO, utilizando o Índice de Gravidade Global (IGG). O IGG foi calculado para cada faixa com base na ocorrência e gravidade de diferentes tipos de defeitos no pavimento. Os valores do IGG obtidos foram 99,8 e 103,6, para as faixas 1 e 2, respectivamente. Portanto, ambas as faixas foram classificadas em condição “ruim”.

Os resultados obtidos sugerem que o pavimento da via estudada necessita de intervenções urgentes para restaurar sua condição funcional. Entre as patologias mais frequentes identificadas estão as trincas interligadas tipo "couro de jacaré", afundamentos de trilha de roda, e buracos (panelas). Através das árvores de decisão baseadas nos valores de IGG, foram recomendadas diversas ações de manutenção, incluindo selagem de trincas, recapeamento, e, em alguns trechos, reconstrução completa. Essas medidas visam melhorar a qualidade do rolamento e prolongar a vida útil do pavimento, assegurando maior conforto e segurança aos usuários da via.

Comassetto (2019), concentrou-se na avaliação da superfície asfáltica de um segmento de seis quilômetros da rodovia ERS-348, situado entre as cidades de Dona Francisca e Agudo, no estado do Rio Grande do Sul. O IGG determinado, no valor de 76,77, classificou o trecho como “regular”, indicando um grau de degradação moderado no pavimento.

As trincas do tipo "couro de jacaré" e do tipo bloco foram as mais frequentes, representando 68% das manifestações patológicas. Além disso, trincas isoladas, remendos e ondulações também contribuíram significativamente para o aumento do IGG. A pesquisa não apenas forneceu uma visão clara das condições do pavimento, mas também destacou a importância de avaliações sistemáticas para a manutenção e gestão de rodovias.

A pesquisa realizada por Silva (2018) focou na aplicação do Método do IGG (Índice de Gravidade Global) em comparação com o Método do PCI (Pavement Condition Index) para avaliar as condições do pavimento em um trecho da Avenida Tupi, em Pato Branco-PR. Os resultados da pesquisa indicaram que, ao aplicar o Método do IGG, o pavimento foi classificado como "bom" para a faixa 1, com o valor de 25,30 e "ótimo" para a faixa 2, alcançando IGG igual a 17,812. Já o Método do PCI classificou o pavimento como "bom".

Apesar da classificação positiva, foram identificados defeitos significativos que necessitam de reparos. O trabalho também sugeriu tipos de manutenções que poderiam ser aplicadas, contribuindo para a preservação e melhoria das condições da via. A pesquisa demonstrou a eficácia do IGG como uma ferramenta de avaliação, alinhando-se aos dados obtidos pelo PCI e reforçando a importância de métodos sistemáticos na gestão de pavimentos.

Gabriel (2021), realizou a análise das condições do pavimento flexível da rua Denhei Kanashiro, em Apucarana-PR, utilizando o método do Índice de Gravidade Global (IGG) para

identificar e quantificar os defeitos na superfície. A pesquisa envolveu a coleta de dados amostrais em 44 estações ao longo da via.

Os resultados mostraram que as trincas isoladas longitudinais curtas foram as mais frequentes, aparecendo em 23 das 44 estações (52,3%). As fissuras foram identificadas em 16 estações (36,4%), seguidas por trincas interligadas tipo jacaré sem erosão, que ocorreram em 15 estações (34,1%), e remendos, que apareceram em 14 estações (31,8%). Esses dados indicam que a maioria dos defeitos observados está relacionada a fissuras e trincas, que são os primeiros sinais de deterioração do pavimento. A análise do pavimento resultou em um IGG de 97,40, classificando a condição do pavimento como "ruim". Esse valor aponta para a necessidade de atenção e possíveis intervenções para melhoria da qualidade da via.

O trabalho de Silva (2021) consistiu em uma avaliação superficial de pavimentos asfálticos utilizando o Método o IGG em um trecho da Avenida Moxotó, em Paulo Afonso-BA. O objetivo principal foi identificar e classificar as manifestações patológicas presentes no pavimento, considerando a contagem e a severidade dos defeitos.

A análise revelou um elevado grau de deterioração do pavimento, com 40% da área apresentando danos visíveis. Dentre esses, destacam-se 20% comprometidos por trincas interligadas, conhecidas como "couro de jacaré", 11% afetados por buracos ("panelas") e 9% devido a remendos. Além disso, indicou que ambas as faixas examinadas apresentaram uma classificação ruim, com o valor do IGG obtido para a faixa 1 de 148,4 e para a faixa 2 de 129,4, ambos classificados como pavimento ruim de acordo com a norma do DNIT (2003). Esses resultados ressaltaram a necessidade urgente de intervenções corretivas, como a repavimentação, para restaurar a integridade da via e garantir que as condições de qualidade e segurança para o tráfego sejam atendidas.

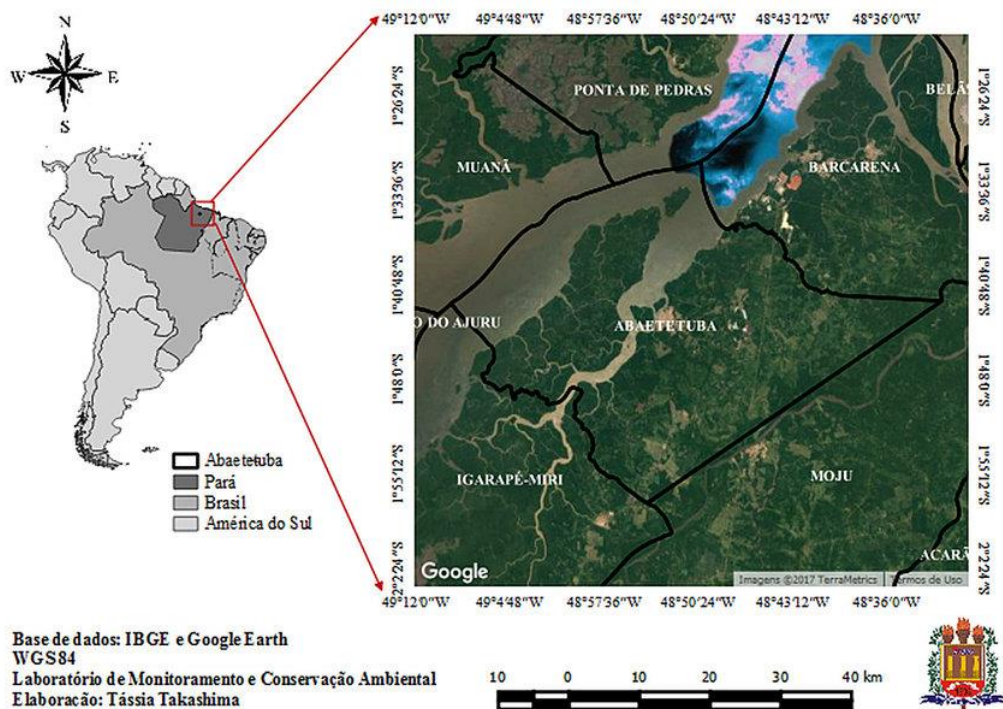
### 3 MÉTODO

Neste capítulo, são apresentadas as características das vias estudadas e o método adotado para a realização deste trabalho. O procedimento para coleta de dados e obtenção de resultados é detalhado em etapas progressivas, incluindo: codificação dos trechos, inventário da rede, formulário de campo e coleta de dados, cálculo do Índice de Gravidade Global (IGG) e a análise dos dados obtidos.

#### 3.1 Caracterização da área de estudo

Situada na região Norte do Brasil, no estado do Pará, Abaetetuba é uma cidade que se destaca por sua rica biodiversidade e cultura do artesanato de miriti. Segundo o último censo IBGE (2022), o município possui área de aproximadamente 1.611 km<sup>2</sup>, com população de 158.188 habitantes e densidade demográfica era de 98,21 habitantes/km<sup>2</sup>. A cidade apresenta um equilíbrio entre áreas urbanas em desenvolvimento e vastas zonas rurais dedicadas à produção agrícola.

Figura 10 - Localização da Cidade de Abaetetuba



Fonte: Miranda, Thyago & Tavares Martins, Ana. 2021

Abaetetuba é a sétima cidade mais populosa do estado do Pará, servindo como cidade-polo para uma região que inclui os municípios de Moju, Igarapé-Miri e Barcarena. A localização da cidade facilita o acesso aos portos de Belém e Vila do Conde, além de estar próxima ao Polo Industrial de Vila dos Cabanos, a apenas 30 km de distância.

A economia local é fortemente dominada pelo setor terciário, com uma vasta rede de comércio e serviços. A indústria, embora com menor impacto econômico, abrange setores como alimentos, beneficiamento de produtos agroflorestais, produção de bebidas, móveis, madeira, cerâmica, além de contar com metalúrgicas e estaleiros. Na agricultura, Abaetetuba se destaca como um dos principais produtores de açaí, bacuri, cupuaçu e manga no Pará, além de culturas como mandioca, coco, miriti e bacaba. A pecuária também é relevante, com a criação de bovinos, suínos e caprinos, e um abatedouro público. No setor pesqueiro, a cidade é o 5º maior polo do estado, com expressiva produção de camarão e peixe (Prefeitura Municipal de Abaetetuba, 2024).

Até 1880, o município de Abaetetuba integrava o território da capital do estado, Belém. Atualmente, devido à proximidade entre as duas localidades, muitos moradores de Abaetetuba dependem de transporte, seja coletivo ou privado, para se deslocarem diariamente à capital, seja para exames médicos, estudos ou trabalho.

Para realizar esse trajeto, há duas opções principais de acesso. A primeira é via PA 151, utilizando transporte rodoviário até a vila do Arapari, seguido de transporte marítimo, totalizando aproximadamente 68 km de percurso. A segunda opção é via PA 483, com transporte rodoviário pela alça viária do Pará até Marituba, completando o trajeto até Belém com cerca de 126 km.

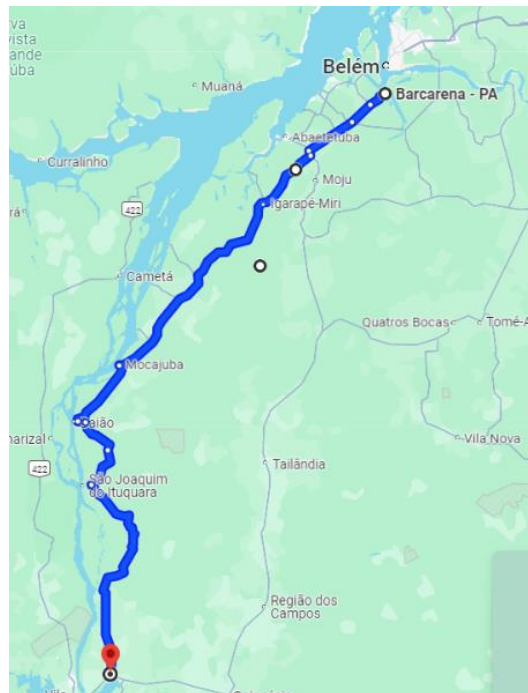
Neste estudo, foram avaliados os pavimentos que compõem o trajeto da primeira opção mencionada, ou seja, o percurso Abaetetuba-Belém via vila do Arapari. Dessa forma, foram analisadas as condições dos pavimentos das rodovias PA-252 e PA-151, cujos mapas estão indicados nas Figuras 11 e 12.

Figura 11 - PA-252



Fonte: Google Maps, 2024

Figura 12 - PA-151



Fonte: Google Maps, 2024

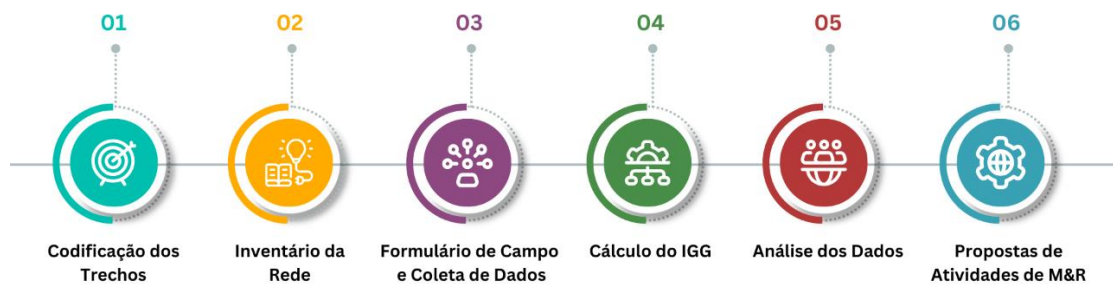
A rodovia PA-252, com mais de 310 quilômetros de extensão, serve como rota de escoamento da produção do nordeste estadual. Iniciando em Abaetetuba e estendendo-se até a BR-010, essa rodovia intercepta importantes vias, como a PA-151, PA-140, PA-127, PA-124, Perna Sul, BR-475 e BR-010, e conecta os municípios de Abaetetuba, Moju, Acará, Concórdia, São Domingos do Capim, Aurora do Pará, Mãe do Rio, Capitão Poço e Garrafão do Norte (Governo do Estado do Pará, 2021).

A PA-151 possui mais de 250 quilômetros de extensão e conecta os municípios de Barcarena, Abaetetuba, Igarapé-Miri, Cametá, Mocajuba, Baião e Moju. Essa rodovia pode ser acessada pela PA-481, pela Estrada Moura Carvalho, e também dá acesso ao porto do Arapari, além de se conectar a outras importantes vias, como a PA-483 (Alça Viária), PA-403, PA-252, PA-467, PA-469, PA-256 e PA-471 (Governo do Estado do Pará, 2023).

### 3.2 Descrição do Método

A seguir, é apresentado um fluxograma que ilustra as etapas do método utilizado nesse estudo.

Figura 13 - Fluxograma do Método

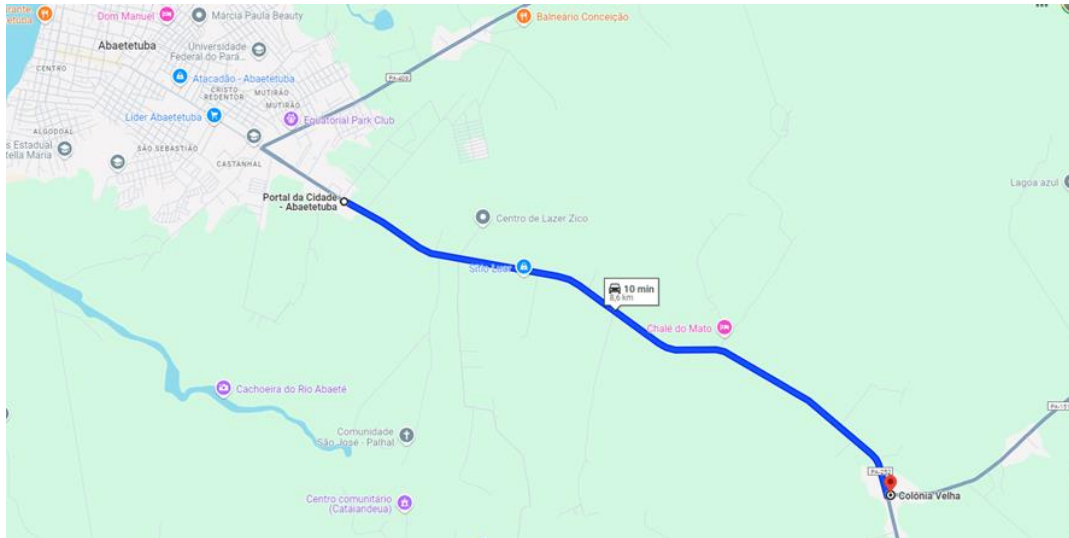


Fonte: Autora, 2024

#### 3.2.1 Codificação dos trechos

O estudo analisou as rodovias PA-252 e PA-151, dividindo o percurso entre Abaetetuba e o Porto do Arapari em três trechos distintos. O trecho 1 possui aproximadamente 8,6 km (Figura 14) abrange a PA-252, desde a entrada da cidade de Abaetetuba até o trevo da Colônia Velha, onde ocorre a interseção com a PA-151. A partir dessa interseção, o trecho 2 (Figura 15) se estende por 21,3 km até a rotatória de acesso à Alça Viária do Pará, PA-483. Finalmente, o trecho 3 (Figura 16) cobre o restante do trajeto, 19 km, pela PA-151 até a Vila do Arapari.

Figura 14 - Trecho 1, Abaetetuba-Colônia Velha



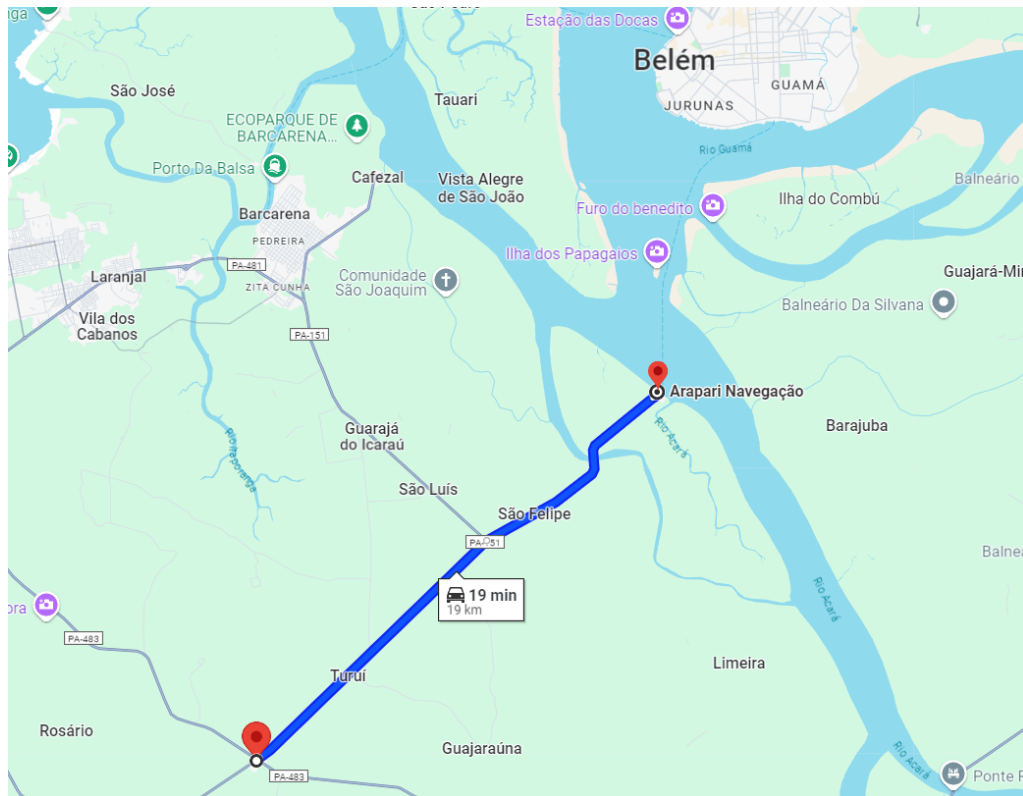
Fonte: Google Maps, 2024

Figura 15 - Trecho 2, Colônia Velha - Alça Viária



Fonte: Google Maps, 2024

Figura 16 - Trecho 3, Alça Viária - Porto do Arapari

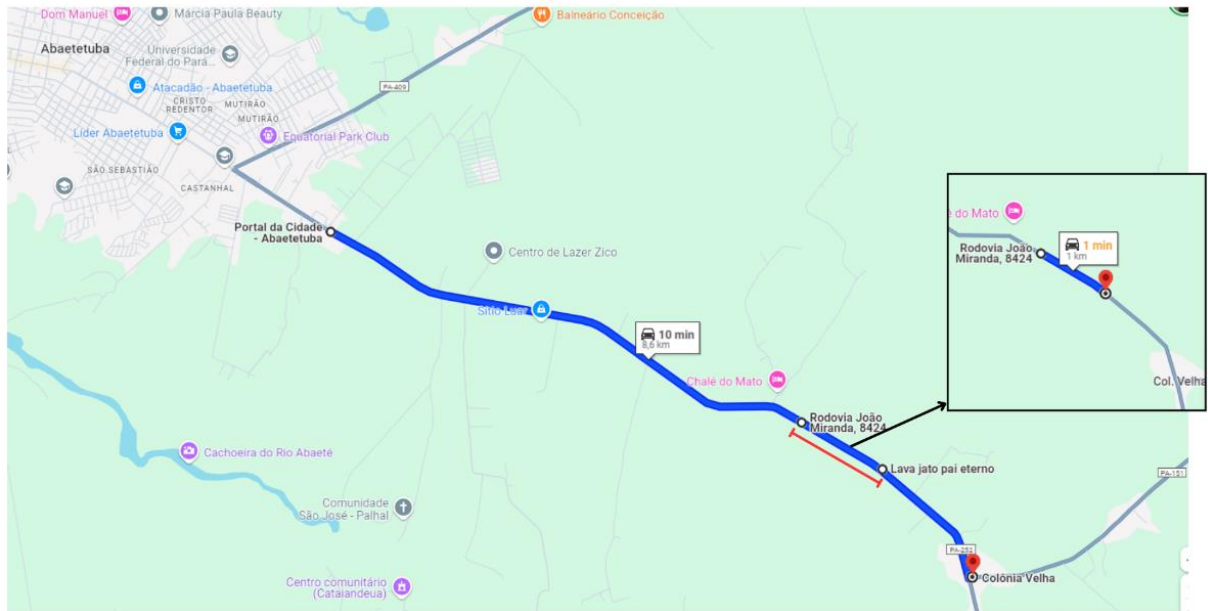


Fonte: Google Maps, 2024

Após definir os trechos, cada um foi subdividido em segmentos menores de 1 km de extensão. Para selecionar uma seção específica de cada trecho, foi realizado um sorteio aleatório, com base no número do quilômetro correspondente dentro do trecho. No trecho 1, a seção sorteada foi a do 6º quilômetro. Para o trecho 2, foi selecionada a seção correspondente ao 9º quilômetro, e no trecho 3, a seção escolhida foi a do 4º quilômetro. A numeração dos quilômetros começa no início de cada trecho, sempre seguindo o sentido Abaetetuba – Belém, garantindo que a seleção seja feita de forma organizada e consistente.

A seguir, os mapas das Figuras 17, 18 e 19 ilustram as seções selecionadas.

Figura 17 - Seção 1, Abaetetuba – Colônia Velha



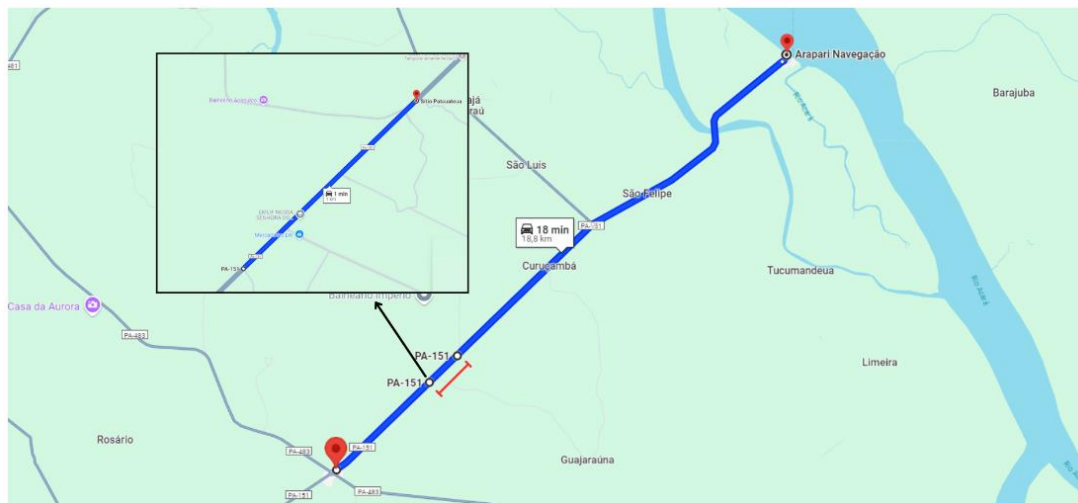
Fonte: adaptado (Google Maps, 2024)

Figura 18 - Seção 2, Colônia Velha - Alça Viária



Fonte: adaptado (Google Maps, 2024)

Figura 19 - Seção 3, Alça Viária - Arapari



Fonte: adaptado (Google Maps, 2024)

A condição de análise de apenas 1 km de cada trecho é decorrente das restrições impostas pelo pessoal disponível, pelo tempo e pelo orçamento da pesquisa. Com uma equipe limitada e um cronograma apertado, tornou-se inviável abranger extensão maiores dos trechos em análise. Além disso, o orçamento disponível não permitiu a execução de um estudo mais amplo. Diante dessas limitações, optou-se por realizar uma análise focada em 1 km representativo de cada trecho, garantindo que os recursos fossem utilizados de forma eficiente para obter dados relevantes dentro das possibilidades do projeto.

### 3.2.2 Inventário de rede

As extensões e larguras dos três trechos principais foram mensuradas utilizando ferramentas como Google Earth e Google Maps, e posteriormente verificadas in loco. A largura de cada faixa de tráfego é calculada dividindo a largura total da via por dois, já as cotas foram definidas pelo perfil de elevação de cada trecho analisado. Os dados sistematizados, que incluem informações sobre a largura da via, presença de acostamento, existência de elementos de drenagem superficial, volume de tráfego e as cotas obtidas por meio do Google Earth, estão compilados na Tabela 4.

Tabela 5 - Inventário de rede e cotas

		Trecho 1	Trecho 2	Trecho 3
<b>Rodovia</b>		PA-252	PA-151	PA-151
<b>Perímetro</b>	<b>Início</b>	Portal da cidade de Abaetetuba	Trevo da Colônia Velha	Rotatória de acesso à Alça Viária
	<b>Fim</b>	Trevo da Colônia Velha	Rotatória de acesso à Alça Viária	Porto do Arapari
<b>Largura (m)</b>		7,5	8	8
<b>Extensão (km)</b>		8,6	21,5	19,1
<b>Cota (m)</b>		13	24	22
<b>Acostamento</b>		N	S	N
<b>Drenagem Superficial</b>		N	N	N
<b>Tráfego</b>		Médio	Alto	Leve

Fonte: Autora, 2024

As condições de tráfego nos três trechos principais foram classificadas em três níveis: leve, moderado e alto, com base na característica de volume de tráfego de veículos que circulam em cada via analisados em campo, visto que não se obteve estudos de volumes quantitativos de tráfego para esta pesquisa.

O tráfego leve, observado no trecho 3, é caracterizado por um fluxo reduzido de veículos, predominando carros e motos (Figura 20) que se dirigem ao porto do Arapari para a travessia de balsa, além de alguns ônibus intermunicipais que transportam passageiros para o embarque no barco. O tráfego moderado, presente no trecho 1, refere-se a um volume médio de veículos, visto que essa via é um acesso principal à cidade de Abaetetuba. Nesse trecho, há uma mistura de tráfego local e regional, com um maior número de automóveis, motos, ônibus e caminhões (Figura 21). Por fim, o tráfego alto, identificado no trecho 2, é caracterizado por um fluxo intenso de veículos pesados, como caminhões e ônibus (Figura 22), devido à sua função como rota de acesso ao porto de Vila do Conde. Esse nível de tráfego acentua a pressão sobre a estrutura da via, exigindo pavimentos mais robustos e manutenção constante para suportar o alto volume de carga e o desgaste acelerado da infraestrutura.

Figura 20 - Tráfego trecho 3



Fonte: Acervo da autora, 2024

Figura 21 - Tráfego trecho 1



Fonte: Google Earth (2024)

Figura 22 - Tráfego trecho 2



Fonte: Google Earth (2024)

### 3.2.3 Formulário de campo e coleta de dados

O formulário de campo utilizado é descrito na Norma DNIT 006/2003-PRO intitulado "Formulário de Inventário do Estado da Superfície do Pavimento" (Anexo A). Este formulário é essencial para registrar as condições observadas das superfícies de pavimentos durante as avaliações de campo.

A estrutura do formulário se dá por:

- Campos que permitem identificar precisamente o local e as condições específicas da avaliação (Rodovia, Operador, Trecho, Subtrecho, Tipo de Revestimento e Data);
- Localização exata da estação avaliada (Estação ou Quilômetro);
- Identificação das fissuras isoladas (como FI, TTC, TTL, etc.), que são catalogadas com base na norma correlata DNIT 005/2003-TER;
- Inclusão de afundamentos, ondulações, exsudações, desgastes, panelas (buracos), e remendos. Cada defeito é codificado para facilitar o cálculo das frequências e do IGI (Índice de Gravidade Individual);
- Registros das medidas das flechas das trilhas de roda interna e externa, que são fundamentais para a avaliação da deformação permanente (TRI e TRE);
- Campos adicionais para observações específicas sobre o estado da superfície ou outras anomalias não cobertas pelas categorias padronizadas.

A coleta de dados para avaliação da superfície de pavimentos rodoviários enfrenta restrições que podem comprometer a precisão dos resultados. Condições climáticas adversas, como chuva e temperaturas extremas, podem afetar a visibilidade e as características do pavimento, enquanto interferências na via, como veículos e obras, dificultam o acesso às superfícies avaliadas. Além disso, intervenções recentes, como remendos, podem distorcer os resultados ao não refletir as condições originais do pavimento.

A precisão dos dados também depende da calibração e do estado dos equipamentos utilizados, como a treliça de medição das flechas, pois falhas na manutenção podem introduzir erros nas medições. A correta demarcação das áreas de avaliação é essencial, pois erros nessa fase podem levar a medições fora dos padrões exigidos. A categorização de defeitos, que envolve julgamentos subjetivos, pode introduzir variabilidade nos dados, afetando a padronização da avaliação. Considerar essas restrições é crucial para garantir resultados precisos e representativos das condições reais dos pavimentos.

Para a avaliação das superfícies, foi necessário utilizar uma treliça de alumínio padronizada, com 1,20 m de comprimento na base e equipada com uma régua móvel posicionada em seu ponto médio, permitindo a medição em milímetros das flechas na trilha da roda (Figura 23). Além disso, foram necessários materiais auxiliares e equipamentos para marcar e localizar as estações de avaliação na pista, como uma trena de 50 m, giz e smartphone para preenchimento dos dados no formulário, entre outros.

Figura 23 – Treliça Metálica para aferição das flechas na trilha de roda



Fonte: Acervo da autora, 2024

### 3.2.4 Cálculo do IGG

O cálculo do IGG é realizado conforme método do DNIT previamente explicado na revisão bibliográfica (item 2.2.2), utilizando-se a aplicação para rodovias de pista simples. As estações de coleta de dados são posicionadas a cada 20 metros, descartando os 3 metros de ré e 3 metros de vante, alternando entre as faixas, 40 m em 40 m em cada faixa de tráfego.

Para coletar os dados necessários para o cálculo do IGG, foi realizada uma subdivisão prévia das rodovias em segmentos de 1 km, em cada trecho, que compartilham características e defeitos semelhantes. Para cada trecho, no segmento de 1km selecionado, foram definidas 50 estações, sendo 25 do lado direito e 25 do lado esquerdo. A Norma DNIT 006/2003-PRO especifica os defeitos que devem ser avaliados com esse método.

Após a coleta dos dados dos três segmentos rodoviários, os mesmos foram processados de acordo com o método IGG, resultando em uma nota de IGG para cada trecho analisado. Com os valores do IGG obtidos para cada trecho, a avaliação da condição do pavimento será realizada conforme os critérios do DNIT (2003). Segundo esses critérios, notas entre 0 e 20 indicam uma condição ótima, de 20 a 40 indicam uma condição boa, de 40 a 80 são classificadas como regulares, de 80 a 160 são consideradas ruins, e valores acima de 160 são categorizados como péssimos.

### **3.2.5 Análise de dados**

As análises e interpretações desta pesquisa foram elaboradas com base nas avaliações realizadas em campo, seguindo os cálculos dos índices e a determinação de defeitos nos trechos. Cada avaliação avalia a superfície asfáltica de forma abrangente, identificando os trechos mais e menos críticos e os defeitos mais e menos frequentes.

### **3.2.6 Atividades de manutenção e reabilitação a serem aplicadas na rodovia**

Os dados coletados foram analisados e organizados em inventários que descrevem a condição das vias. Com base nesses dados, foi possível definir o tipo de manutenção mais apropriado para cada intervenção necessária. Essa análise permitiu determinar as intervenções específicas para cada seção, possibilitando sugerir as melhores ações de manutenção e/ou reabilitação para cada trecho da via.

## 4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Este capítulo apresenta a aplicação prática do método proposto nesta pesquisa. Nele, são explorados os principais resultados obtidos, os quais são discutidos e, quando possível, comparados com os achados dos autores referenciados no capítulo 2. Além disso, são incluídas as considerações finais sobre a malha viária das rodovias analisadas.

### 4.1. Cálculo do IGG

Na primeira quinzena de outubro de 2024, realizou-se o levantamento e a quantificação dos defeitos apresentados nos 3 trechos analisados. Esse processo envolveu o preenchimento do inventário do estado da superfície do pavimento, fornecido pelo DNIT (2003b), apresentado no Anexo A, onde foram registradas em planilha no Excel as medidas das trilhas de roda interna e externa, além de todos os defeitos observados em cada trecho.

A Tabela 5 apresenta um resumo dos dados, representado por 10 estações do trecho 1. Os dados totais das 150 estações avaliadas podem ser consultados na íntegra no Apêndice A.

Tabela 6 - Adaptação do Inventário DNIT (2003b)

(continua)

Estação			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Faixa			E	D	E	D	E	D	E	D	E	D
Tipo	OK	Sem defeito										
1	F1	Fissuras										
FCI	TTC	Trincas transversais curtas	X			X	X	X			X	
	TTL	Trincas transversais longas							X			
	TLC	Trincas longitudinais curtas	X	X		X		X	X	X	X	X
	TLL	Trincas longitudinais longas			X		X					
	TRR	Trincas isoladas retração										
2	J	Couro de jacaré								X		
FCII	TB	Trincas em bloco									X	
3	JE	Couro de jacaré com erosão									X	
FCIII	TBE	Trincas em bloco com erosão										
4	ALC	Afundamento consolidação local									X	
	ATC	Afundamento consolidação trilha										
	ALP	Afundamento plástico local			X							
	ATP	Afundamento plástico trilha										
5	O	Ondulação										

Fonte: Autora, 2024

Tabela 5 - Adaptação do Inventário DNIT (2003b)

(conclusão)

Estação			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Faixa			E	D	E	D	E	D	E	D	E	D
	P	Panela										
	E	Escorregamento										
6	EX	Exsudação									X	
7	D	Desgaste				X	X					
8	R	Remendo	X		X						X	
	TRI	Trilha de roda interna (mm)	0	0	10	0	0	0	0	0	1	0
	TER	Trilha de roda externa (mm)	3	0	4	0	0	0	0	1	4	0

Fonte: Autora, 2024.

A avaliação teve como objetivo inicial determinar o IGI para cada um dos grupos de defeitos encontrados, levando em conta as flechas de TRI e TRE. Com a soma desses valores individuais, foi possível classificar os trechos com base no IGG conforme as Tabelas 6, 7 e 8, os quais representam os Trechos 1, 2 e 3, respectivamente.

Tabela 7 - Planilha de Cálculo do IGG, trecho 1

RODOVIA: PA-252 PLANILHA DE CÁLCULO DO ÍNDICE DE GRAVIDADE GLOBAL (IGG)						Data:	Folha:
TRECHO: Abaetetuba – Colônia Velha						Estaca ou Quilômetro	Estaca ou Quilômetro
SUB-TRECHO: 1 Km						REVESTIMENTO TIPO: Betuminoso	
Item	Natureza do defeito	Frequência absoluta	Frequência absoluta considerada	Frequência relativa	Fator de ponderação	Índice de gravidade individual	OBS
1	Trincas isoladas FI, TTC, TTL, TLC, TLL, TRR	38	25	50%	0,2	<b>10</b>	
2	(FC – 2) J, TB	12	11	22%	0,5	<b>11</b>	
3	(FC – 3) JE, TBE	6	6	12%	0,8	<b>9,6</b>	
4	ALP, ATP, ALC, ATC	19		38%	0,9	<b>34,2</b>	
5	O, P, E	5		10%	1	<b>10</b>	
6	EX	1		2%	0,5	<b>1</b>	
7	D	21		42%	0,3	<b>12,6</b>	
8	R	18		36%	0,6	<b>21,6</b>	
9	Média dos valores médios das flechas	TRE = 2,04	TRI = 0,46	F = 1,25	1 A (X) 1 B ( )	<b>1,67</b>	
10	Média das variâncias das flechas	TREv = 18,24	TRIV = 1,15	FV = 9,7	2 A (X) 2 B ( )	<b>9,7</b>	
<b>Nº TOTAL DE ESTAÇÕES</b>		n = 50	$\sum$ IND. GRAVID. IND. = IGG			<b>121,37</b>	<b>RUIM</b>
1A) IGI = F x 4/3 quando F ≤ 30						2A) IGI = FV quando FV ≤ 50	

Fonte: DNIT (2003c)

Conforme mostrado na Tabela 6, o trecho 1 apresentou Índice Global de Irregularidade (IGI) mais elevado nos defeitos de afundamentos (ALP, ATP, ALC, ATC), com um valor igual a 34,2. Em seguida, destacaram-se os remendos, com IGI de 21,6, e o desgaste, com 12,6. Os menores índices observados foram para exsudação (IGI = 1,0), a média dos valores médios das flechas das trilhas de rodas (IGI = 1,67) e fendas de classe FC – 3 (IGI = 9,6).

Quanto à frequência relativa, a mais relevante para a classificação foi associada à presença de trincas isoladas (FI, TTC, TTL, TLC, TLL, TRR), registrada em 50% das estações avaliadas. O desgaste também apresentou alta frequência, estando presente em 42% das estações, seguido pelos afundamentos, com 38%. Por outro lado, as patologias menos recorrentes foram a exsudação (2%), defeitos do item 5 (O, P, E), com 10%, e as fendas de classe FC-3 (JE, TBE), com 12%.

A avaliação atribuiu ao trecho uma classificação de "ruim," com um IGG final de 121,37, posicionando-se na faixa de  $80 < IGG \leq 160$ .

Tabela 8 - Planilha de Cálculo do IGG, trecho 2

RODOVIA: PA-151 PLANILHA DE CÁLCULO DO ÍNDICE DE GRAVIDADE GLOBAL (IGG) TRECHO: Colônia Velha – Rotatória Alça-Viária SUB-TRECHO: 1 Km REVESTIMENTO TIPO: Betuminoso						Data:	Folha:
						Estaca ou Quilômetro	Estaca ou Quilômetro
Item	Natureza do defeito	Frequência absoluta	Frequência absoluta considerada	Frequência relativa	Fator de ponderação	Índice de gravidade individual	OBS
1	Trincas isoladas FI, TTC, TTL, TLC, TLL, TRR	46	9	18%	0,2	<b>3,6</b>	
2	(FC – 2) J, TB	28	17	34%	0,5	<b>17</b>	
3	(FC – 3) JE, TBE	21	21	42%	0,8	<b>33,6</b>	
4	ALP, ATP, ALC, ATC	33		66%	0,9	<b>59,4</b>	
5	O, P, E	5		10%	1	<b>10</b>	
6	EX	5		10%	0,5	<b>5</b>	
7	D	40		80%	0,3	<b>24</b>	
8	R	15		30%	0,6	<b>18</b>	
9	Média dos valores médios das flechas	TRE= 3,6	TRI = 1,18	F = 2,39	1 A (X) 1 B ( )	<b>3,19</b>	
10	Média das variâncias das flechas	TREv = 70,61	TRIV = 2,72	FV = 36,67	2 A (X) 2 B ( )	<b>36,67</b>	
<b>Nº TOTAL DE ESTAÇÕES</b>		<b>n = 50</b>	<b>∑ IND. GRAVID. IND. = IGG</b>			<b>210,46</b>	<b>PÉSSIMO</b>
1A) IGI = F x 4/3 quando F ≤ 30			2A) IGI = FV quando FV ≤ 50				

Fonte: DNIT (2003c)

De acordo com a Tabela 7, observa-se que o trecho 2 possui ainda mais destaque nos defeitos de afundamento, que apontaram um IGI de 59,4. Em seguida, as variâncias das flechas registraram um IGI de 36,67, enquanto as fendas do item 3 alcançaram IGI = 33,6. Entre os menores IGIs, foram observados a média dos valores médios das trilhas de roda (3,19), as trincas isoladas (3,6) e a exsudação (5,0).

Embora a média das trilhas de roda tenha sido pequena, a variância apresentou valores elevados, indicando uma distribuição irregular dos afundamentos ao longo do trecho. Isso sugere que a superfície da via alterna entre pontos sem afundamento e outros com afundamentos significativos, configurando um pavimento irregular. Essa irregularidade compromete o conforto e a segurança dos usuários, causando desconforto no impacto devido a mudanças bruscas nas condições da pista.

Diferentemente do trecho 1, no que diz respeito à frequência relativa, os resultados obtiveram uma predominância de desgaste, que afeta 80% de suas estações, seguido por afundamentos (66%) e pelas fendas do item 3 (42%). As frequências menos recorrentes foram exsudação (10%), defeitos do item 5 (10%) e trincas isoladas (18%).

Assim, o trecho 2 foi classificado como "péssimo", com um IGG final de 210,46, localizado na faixa IGG > 160.

Tabela 9 - Planilha de Cálculo do IGG, trecho 3

(continua)

RODOVIA: PA-151 PLANILHA DE CÁLCULO DO ÍNDICE DE GRAVIDADE GLOBAL (IGG)						Data:	Folha:
TRECHO: Rotatória Alça-Viária – Porto do Arapari						Estaca ou Quilômetro	Estaca ou Quilômetro
SUB-TRECHO: 1 Km						REVESTIMENTO TIPO: Betuminoso	
Item	Natureza do defeito	Frequência absoluta	Frequência absoluta considerada	Frequência relativa	Fator de ponderação	Índice de gravidade individual	OBS
1	Trincas isoladas FI, TTC, TTL, TLC, TLL, TRR	40	33	66%	0,2	<b>13,2</b>	
2	(FC – 2) J, TB	8	6	12%	0,5	<b>6</b>	
3	(FC – 3) JE, TBE	4	4	8%	0,8	<b>6,4</b>	
4	ALP, ATP, ALC, ATC	9		18%	0,9	<b>16,2</b>	
5	O, P, E	1		2%	1	<b>2</b>	
6	EX	2		4%	0,5	<b>2</b>	
7	D	26		52%	0,3	<b>15,6</b>	

Fonte: DNIT (2003c)

Tabela 10 - Planilha de Cálculo do IGG, trecho 3

(conclusão)

Item	Natureza do defeito	Frequência absoluta	Frequência absoluta considerada	Frequência relativa	Fator de ponderação	Índice de gravidade individual	OBS
8	R	22		44%	0,6	<b>26,4</b>	
9	Média dos valores médios das flechas	TRE= 1,34	TRI = 0,36	F = 0,85	1 A (X) 1 B ( )	<b>1,13</b>	
10	Média das variâncias das flechas	TREv = 8,19	TRIV = 2,36	FV = 5,27	2 A (X) 2 B ( )	<b>5,27</b>	
<b>Nº TOTAL DE ESTAÇÕES</b>		n = 50	$\sum$ IND. GRAVID. IND. = IGG			<b>94,2</b>	<b>RUIM</b>
1A) IGI = F x 4/3 quando F ≤ 30		2A) IGI = FV quando FV ≤ 50					

Fonte: DNIT (2003c)

Por fim, ao analisar a Tabela 8, percebe-se um novo comportamento no trecho 3 em comparação aos anteriores. Dessa vez, os remendos assumem maior relevância, apresentando um IGI = 26,4. Os afundamentos passam a ser o segundo mais relevante, com IGI = 16,2 e, em terceiro lugar, encontra-se o desgaste com IGI = 15,6. Já os menores IGIs foram observados na média dos valores médios das flechas (1,13), na exsudação (2,0) e nos defeitos do item 5 (2,0).

Com relação à frequência relativa, o trecho 3 apresentou destaque para as trincas isoladas (FI, TTC, TTL, TLC, TLL, TRR), identificadas em 66% de suas estações, seguido pelo desgaste, presente em 52% das estações, e pelos remendos, com 44%. Em contrapartida, os defeitos menos frequentes foram novamente os classificados no item 5 (O, P, E), com apenas 2%, e a exsudação, cuja frequência foi de 4%, além das fendas de classe FC-3 (JE, TBE), com incidência de 8%.

A classificação desse trecho selecionado na faixa de  $80 < IGG \leq 160$ , com IGG igual a 94,2 sendo definida como "ruim".

O IGG médio dos trechos avaliados foi de 142,01 ou seja, o pavimento do trajeto, no geral, foi categorizado em condição "ruim". É válido ressaltar que das 150 estações avaliadas no percurso Abaetetuba – Arapari, apenas 1 não apresentou qualquer tipo de patologia, localizada no trecho 1.

Utilizando o mesmo método Silva (2021) realizou a avaliação da superfície em um trecho da Avenida Moxotó, em Paulo Afonso-BA, onde revelou que ambas as faixas examinadas apresentavam uma condição de definição como "ruim", com valores de IGG de 148,4 para a faixa 1 e 129,4 para a faixa 2, similarmente ao trecho 1 e 3 deste estudo. No entanto, há uma diferença: enquanto a Avenida Moxotó é uma via urbana, os trechos avaliados neste trabalho correspondem a rodovias que são utilizadas para transporte intermunicipal. Isso sugere

que, independentemente do contexto, a condição do pavimento pode se deteriorar até atingir níveis de qualidade semelhantes, especialmente em locais onde a manutenção pode não ser suficiente para suportar o tráfego ou as condições ambientais.

Destaca-se também que, diferentemente dos demais estudos referenciados, nenhum apresentou valores de IGG superiores a 160, como apresentados no trecho 2, classificado como "péssimo". A frequência e o alto carregamento dos veículos nessa área contribuem significativamente para o desgaste acelerado do pavimento.

## **4.2. Análise dos dados**

### **4.1.1 Trecho crítico**

Com base nos dados analisados, foi possível identificar a existência de um trecho crítico, determinado pelo maior valor do IGG registrado. O trecho 2, localizado entre a Colônia Velha e a rotatória da Alça-Viária, apresentou um IGG de 210,46, sendo classificado como "péssimo". Esse índice elevado pode ser atribuído ao intenso tráfego de veículos pesados e de passageiros, uma vez que essa via desempenha um papel crucial como acesso ao polo industrial de Barcarena, ao Porto de Vila do Conde e à capital, Belém.

Para aprofundar a análise, foi realizado o cálculo do IGG separadamente no trecho 2, considerando duas subdivisões: faixa de tráfego no sentido interior – porto (Tabela 9) e faixa de tráfego no sentido porto – interior (Tabela 10). É de se esperar que a faixa no sentido interior – porto suporte um tráfego mais pesado, devido ao transporte de cargas destinadas às atividades portuárias. Essa característica resulta em uma maior transferência de carga ao pavimento, influenciando diretamente sua condição e, conseqüentemente, os resultados do IGG. O objetivo foi verificar se existem diferenças no estado do pavimento entre a faixa de tráfego que recebe maior carregamento, quando os caminhões e carretas estão na direção ao porto, e a faixa de tráfego oposta, que suporta o tráfego desses veículos ao saírem do porto.

Tabela 9 - Planilha de Cálculo do IGG, faixa de tráfego no sentido interior – porto

RODOVIA: PA-151 PLANILHA DE CÁLCULO DO ÍNDICE DE GRAVIDADE GLOBAL (IGG)						Data:	Folha:	
TRECHO: Colônia Velha – Rotatória Alça-Viária						Estaca ou Quilômetro	Estaca ou Quilômetro	
SUB-TRECHO: 1 Km – Interior-Porto						REVESTIMENTO TIPO: Betuminoso		
Item	Natureza do defeito	Frequência absoluta	Frequência absoluta considerada	Frequência relativa	Fator de ponderação	Índice de gravidade individual	OBS	
1	Trincas isoladas FI, TTC, TTL, TLC, TLL, TRR	22	7	28%	0,2	<b>5,6</b>		
2	(FC – 2) J, TB	15	8	32%	0,5	<b>16</b>		
3	(FC – 3) JE, TBE	10	10	40%	0,8	<b>32</b>		
4	ALP, ATP, ALC, ATC	16		64%	0,9	<b>57,6</b>		
5	O, P, E	2		8%	1	<b>8</b>		
6	EX	1		4%	0,5	<b>2</b>		
7	D	20		80%	0,3	<b>24</b>		
8	R	7		28%	0,6	<b>16,8</b>		
9	Média dos valores médios das flechas	TRE= 2,4	TRI = 1,08	F = 1,74	1 A (X) 1 B ( )	<b>2,32</b>		
10	Média das variâncias das flechas	TREv = 25,5	TRIV = 2,08	FV = 13,79	2 A (X) 2 B ( )	<b>13,79</b>		
Nº TOTAL DE ESTAÇÕES		n = 25	Σ IND. GRAVID. IND. = IGG			<b>178,11</b>	<b>PÉSSIMO</b>	
1A) IGI = F x 4/3 quando F ≤ 30			2A) IGI = FV quando FV ≤ 50					

Fonte: DNIT (2003c)

Tabela 10 - Planilha de Cálculo do IGG, faixa de tráfego no sentido porto – interior

(continua)

RODOVIA: PA-151 PLANILHA DE CÁLCULO DO ÍNDICE DE GRAVIDADE GLOBAL (IGG)						Data:	Folha:
TRECHO: Colônia Velha – Rotatória Alça-Viária						Estaca ou Quilômetro	Estaca ou Quilômetro
SUB-TRECHO: 1 Km – Porto-Interior						REVESTIMENTO TIPO: Betuminoso	
Item	Natureza do defeito	Frequência absoluta	Frequência absoluta considerada	Frequência relativa	Fator de ponderação	Índice de gravidade individual	OBS
1	Trincas isoladas FI, TTC, TTL, TLC, TLL, TRR	23	4	16%	0,2	<b>3,2</b>	
2	(FC – 2) J, TB	13	9	36%	0,5	<b>18</b>	
3	(FC – 3) JE, TBE	11	11	44%	0,8	<b>35,2</b>	
4	ALP, ATP, ALC, ATC	17		68%	0,9	<b>61,2</b>	
5	O, P, E	3		12%	1	<b>12</b>	
6	EX	4		16%	0,5	<b>8</b>	

Fonte: DNIT (2003c)

Tabela 10 - Planilha de Cálculo do IGG, faixa de tráfego no sentido porto – interior

(conclusão)

Item	Natureza do defeito	Frequência absoluta	Frequência absoluta considerada	Frequência relativa	Fator de ponderação	Índice de gravidade individual	OBS
7	D	20		80%	0,3	<b>24</b>	
8	R	8		32%	0,6	<b>19,2</b>	
9	Média dos valores médios das flechas	TRE= 4,8	TRI = 1,28	F = 3,04	1 A (X) 1 B ( )	<b>4,05</b>	
10	Média das variâncias das flechas	TREv = 115,67	TRIV = 3,46	FV = 59,56	2 A ( ) 2 B (X)	<b>50</b>	
<b>Nº TOTAL DE ESTAÇÕES</b>		n = 50	$\Sigma$ IND. GRAVID. IND. = IGG			<b>234,85</b>	<b>PÉSSIMO</b>
1A) IGI = F x 4/3 quando F ≤ 30		2B) IGI = 50 quando FV > 50					

Fonte: DNIT (2003c)

A análise dos valores do IGG calculados separadamente para as faixas nos dois sentidos do trecho 2, mostra que ambas apresentam condições de pavimentos como "péssimas". No sentido interior – porto é registrado um IGG de 178,11, já no sentido oposto, responsável por suportar o tráfego de veículos vindos do polo industrial aos interiores, apresentou um IGG ainda mais elevado, de 234,85. Esse valor destaca uma situação crítica, onde a faixa de saída do polo é a mais impactada pelas cargas e pelas condições operacionais da via.

Os resultados obtidos foram opostos ao esperado. Embora se presuma que a faixa sentido interior – porto apresente maior transferência de carregamento ao pavimento devido ao tráfego intenso de cargas pesadas destinadas às operações portuárias, os dados sugerem que o sentido porto – interior possui condições mais críticas. É possível que a faixa no sentido interior receba um volume maior de veículos pesados, como caminhões de distribuição vindo da alça viária e que utilizam a PA-151 para acesso aos demais municípios do interior do Pará, ou que o porto opere predominantemente com importações. A ausência de dados de tráfego neste estudo impede a confirmação dessas hipóteses, reforçando a importância de uma análise complementar para melhor caracterizar a influência do tráfego.

Outra possibilidade para os resultados observados está relacionada à influência das condições estruturais do pavimento e suas variações ao longo do tempo. Apesar de receber um tráfego menos pesado, o terreno da faixa no sentido porto – interior pode apresentar menor nível de consolidação, em função do menor nível de carga. Essa condição pode gerar afundamentos localizados com magnitudes diferentes, resultando em maior variação das flechas medidas durante os levantamentos. Essa característica eleva o valor de IGG e, portanto, fatores como a

interação entre o tráfego e as condições geotécnicas da rodovia precisam ser considerados para uma avaliação mais específica da problemática.

Além disso, os dados da faixa esquerda revelaram uma alta variação nas medidas das trilhas de roda externa, intensificando a gravidade do pavimento nesse lado. Essa variação sugere uma manipulação irregular, possivelmente causada pelo desalinhamento das cargas nos veículos ou pela distribuição assimétrica de esforços. Quando os caminhões e carretas deixam o polo industrial carregado, há uma maior pressão sobre os eixos e as diferenças nos padrões de rodagem agravam a formação de afundamentos, contribuindo para um desgaste heterogêneo.

Assim, a faixa sentido porto – interior apresenta o IGG mais elevado, comprometendo ainda mais a segurança e o conforto dos usuários, gerando desníveis perceptíveis durante o tráfego, reforçando a necessidade de intervenções prioritárias e estratégias de reparo que consideram tanto o nível de gravidade geral quanto as especificidades das deformações.

Alguns dos defeitos encontrados no trecho 2 podem ser observados nas Figuras 24, 25 e 26. Esses defeitos geralmente indicam problemas estruturais no pavimento, falta de manutenção e desgaste excessivo devido ao tráfego intenso e às condições ambientais.

Figura 24 – Defeitos encontrados no trecho crítico (estação 16)



Fonte: Acervo da Autora (2024)

Avaliando a Figura 24, nota-se que o pavimento do trecho em análise apresenta alguns defeitos, como afundamento, escorregamento e desagregação, além de trincas interligadas do tipo “jacaré”. O afundamento local é dado na depressão à borda da pista de rodagem. Esse tipo de defeito surge devido ao tráfego intenso e ao peso dos veículos, deformando o pavimento de forma gradual. Além disso, vemos sinais de desagregação, onde o pavimento se desintegra e deixa material solto, como fragmentos de asfalto e pedras, iniciando a formação de panela. Outro defeito evidente são as trincas por fadiga, que se interligam. Essas trincas geralmente indicam desgaste estrutural causado por cargas repetidas aplicadas sobre o pavimento. Vale

observar, ainda, que esses danos se dão sobre o remendo já realizado nesse fragmento do trecho. Ou seja, trata-se de um ponto crítico que exige uma intervenção mais robusta, como a aplicação de um remendo estrutural, envolvendo o aumento da espessura do revestimento asfáltico para suportar melhor as cargas e minimizar futuras deteriorações.

Figura 25 - Defeitos encontrados no trecho crítico (estação 9)



Fonte: Acervo da Autora (2024)

Figura 26 - Defeitos encontrados no trecho crítico (estação 6)



Fonte: Acervo da Autora (2024)

As Figuras 25 e 26 mostram patologias no pavimento, evidenciadas pela presença de trincas interligadas tipo “jacaré”, em ambos os trechos, que indicam um processo avançado de fadiga. Esse desgaste é acentuado pela presença de erosão nas bordas das trincas, o que contribui para a desagregação do material superficial e expõe camadas mais profundas à ação de agentes externos, como a água e o tráfego.

Além das trincas com erosão presentes em ambas as figuras, a Figura 25 apresenta um agravante adicional dado por presença de consolidação na trilha de roda, resultado do assentamento do pavimento nas faixas de rodagem onde as rodas dos veículos passam com maior frequência. Esse tipo de afundamento é característico de uma perda de suporte estrutural na base ou sub-base do pavimento, indicando que a infraestrutura já não possui resistência para suportar o tráfego intenso.

Torna-se importante destacar que 80% de todas as estações do trecho 2 apresentam sinais evidentes de desgaste, facilmente visíveis pela sombra "acinzentada" da superfície asfáltica. Essa mudança de cor é um indicativo de oxidação e envelhecimento do pavimento, processo que ocorre quando o ligante asfáltico perde suas propriedades devido à exposição contínua a fatores climáticos, como raios UV, calor e chuva. O aspecto acinzentado revela que a camada de asfalto perdeu boa parte de seus componentes voláteis e óleos essenciais, tornando-se mais rígida e suscetível a fissuras e trincas.

Esse desgaste generalizado no trecho 2 compromete não apenas a integridade estrutural do pavimento, mas também a aderência dos pneus dos veículos, o que pode reduzir a segurança dos usuários, especialmente em condições de chuva, onde uma superfície oxidada e desgastada pode se tornar mais escorregadia.

Por outro lado, o trecho 3, localizado entre a rotatória da Alça-Viária e o Porto do Arapari, apresenta uma condição menos crítica em comparação aos demais, com um IGG de 94,2, embora seja classificado como "ruim". Essa condição pode ser explicada pelo baixo volume de tráfego na área, que é majoritariamente local e se intensifica apenas nos horários de chegada e saída dos transportes aquaviários, como balsas e barcos, com destino a Belém. A grande quantidade de remendos presentes explica boa parte do valor numérico do IGG nesse trecho. Esses remendos, ao invés de solucionarem os problemas iniciais, tornaram-se novos defeitos, contribuindo para a degradação geral da superfície e comprometendo a qualidade da rodovia.

As Figuras 27, 28 e 29 apresentam alguns dos defeitos encontrados no trecho 3.

Figura 27 – Defeitos encontrados no trecho 3 (estação 1)



Fonte: Acervo da Autora (2024)

Na Figura 27, é possível observar a presença de um remendo, acompanhado de trincas isoladas transversais e sinais de ondulação. As trincas transversais indicam que o pavimento está submetido a tensões que comprometem sua integridade, enquanto a corrugação sugere ondulações repetidas, possivelmente relacionadas a deficiências na aderência entre a base e o revestimento do pavimento ou alterações da mistura asfáltica. Esses problemas, embora localizados, podem refletir falhas que, se não corrigidas, tendem a se agravar ao longo do tempo, comprometendo a qualidade da via e gerando custos adicionais para manutenção.

Figura 28 – Defeitos encontrados no trecho 3 (estação 11)



Fonte: Acervo da Autora (2024)

Figura 29 – Defeitos encontrados no trecho 3 (estação 12)



Fonte: Acervo da Autora (2024)

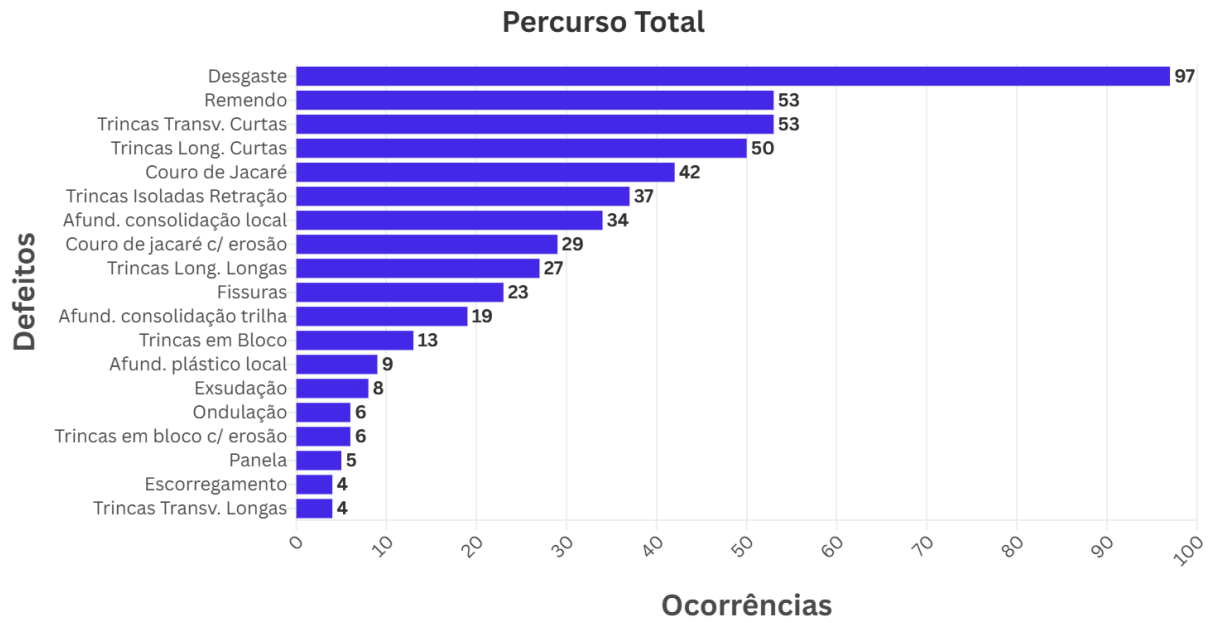
Já nas Figuras 28 e 29, observa-se a ocorrência de trincas interligadas sem erosão, o que sugere que as fissuras são superficiais e não resultaram em perda significativa de material na estrutura do pavimento. No entanto, na estação 11, além das trincas interligadas, há o agravante de um afundamento plástico localizado, notando-se que o pavimento sofreu afundamento devido ao tráfego ou às condições das camadas subjacente do solo. Essa estação apresentou, simultaneamente, os dois principais problemas estruturais de um pavimento: trincas por fadiga e afundamento plástico (deformação permanente). Ou seja, fica claro que, nesse ponto, o pavimento não está conseguindo suportar as cargas do tráfego, comprometendo a estabilidade da via e acelerando o processo de desintegração.

Embora o trecho 3 apresente apenas 52% de desgaste, foi percebido, durante o levantamento de dados, que a rodovia apresenta sinais de desgaste atuais, embora "mascarados" por remendos.

#### **4.1.2 Defeitos mais e menos frequentes**

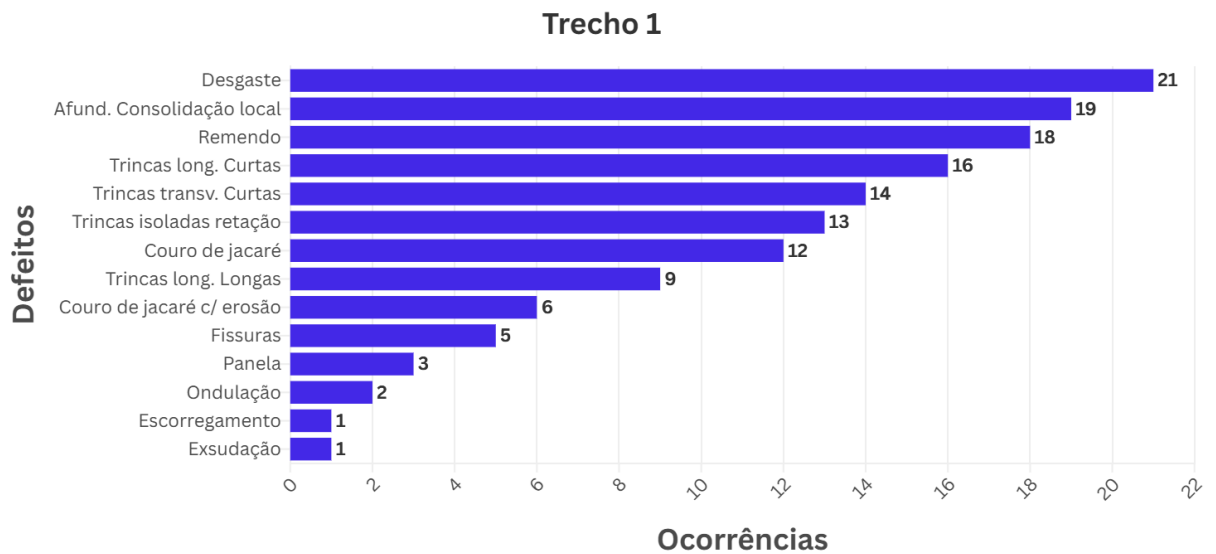
A partir da análise dos dados, foram gerados gráficos que ilustram as patologias mais e menos frequentes em cada trecho (Gráficos 2, 3 e 4), além dos defeitos mais e menos recorrentes ao longo de todo o trajeto (Gráfico 1). Esses gráficos foram construídos com base na quantidade de estações que apresentavam cada tipo de defeito.

Gráfico 1 – Defeitos mais e menos frequentes no percurso total



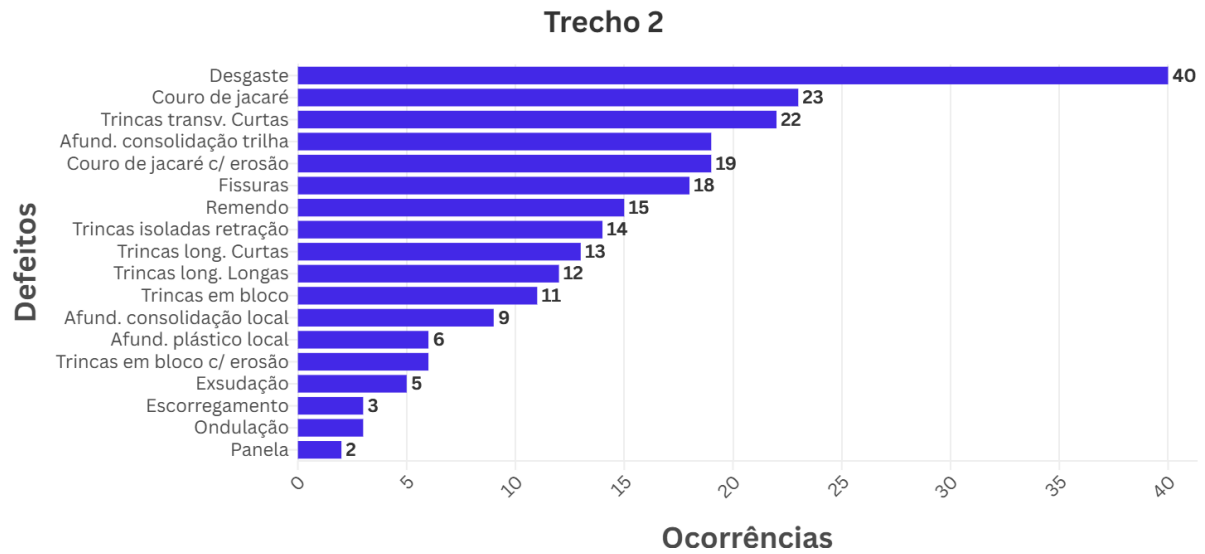
Fonte: Autora (2024)

Gráfico 2 - Defeitos mais e menos frequentes no trecho 1



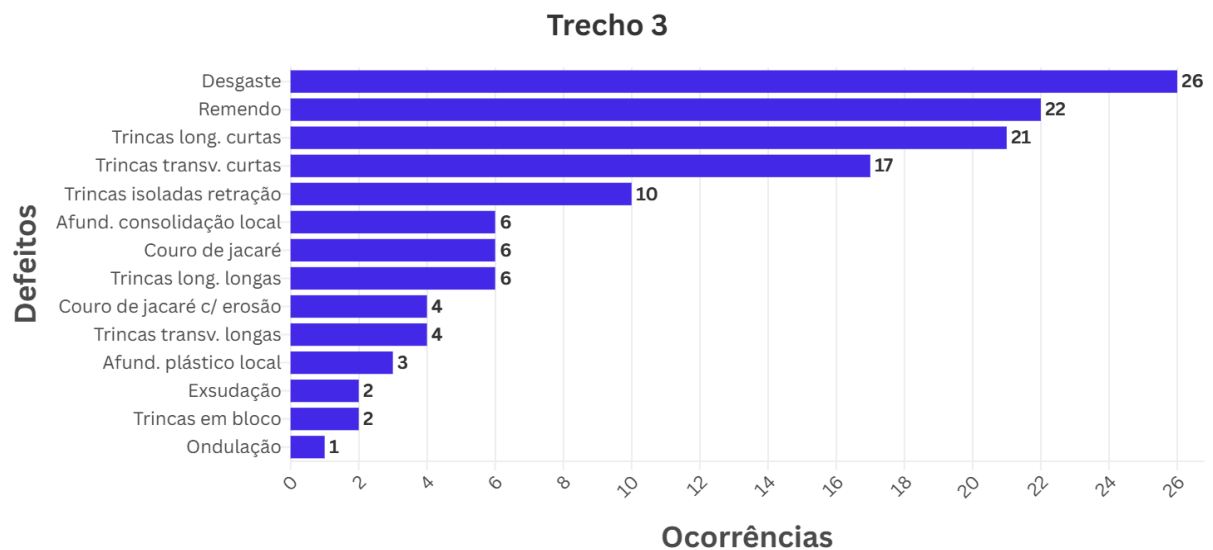
Fonte: Autora (2024)

Gráfico 3 - Defeitos mais e menos frequentes no trecho 2



Fonte: Autora (2024)

Gráfico 4 - Defeitos mais e menos frequentes no trecho 3



Fonte: Autora (2024)

A observação dos gráficos permite concluir que o desgaste foi o defeito mais frequente nos três trechos avaliados, ocorridos em 97 das 150 estações testadas. Esse número corresponde a 64,67% do total de estações identificadas ao longo de todo o trajeto. Ademais, o trecho mais crítico contribuiu com 41,24% das ocorrências de desgaste. O desgaste é dado pela perda da aderência do ligante betuminoso e deslocamento dos agregados (SHRP, 1993).

A Figura 30 exemplifica o desgaste encontrado em cada trecho da avaliação.

Figura 30 - Desgaste

a. Desgaste – Trecho 1



b. Desgaste – Trecho 2



c. Desgaste – Trecho 3



Fonte: Acervo da Autora (2024)

Outras patologias que se destacaram foram os remendos e as trincas transversais curtas, ambas representadas em 35,33% das estações, seguidas das trincas longitudinais curtas (33,33%). As trincas isoladas, se não recebem tratamento adequado, tendem a evoluir, formando uma malha que se transforma em trincas interligadas (J, JE, TB, TBE), as quais já foram identificadas em 90 ocorrências neste estudo. A Figura 31 ilustra a aproximação entre trincas isoladas no pavimento. De forma semelhante, os remendos, que deveriam funcionar como medidas de reparo, muitas vezes são executados sem critérios técnicos adequados, resultando em novos defeitos, como desníveis ou trincas nas bordas (Figura 32). Isso acaba contribuindo para o aumento das irregularidades na superfície do pavimento e agravando o seu estado geral.

Figura 31 - Trincas isoladas



Fonte: Acervo da autora (2024)

Figura 32 - Trincas na borda do remendo



Fonte: Acervo da autora, 2024

Todos os trechos avaliados apresentam o desgaste como o defeito mais frequente. No entanto, há variações na distribuição dos demais defeitos entre os trechos.

No trecho 1, o segundo defeito mais recorrente foi o afundamento de consolidação local, identificado em 38% das estações, seguido pelos remendos, que figuraram entre os três principais defeitos, assim como na avaliação geral.

O trecho 2 manteve as trincas transversais curtas entre os três defeitos mais comuns, mas apresentou as trincas em couro de jacaré como o segundo defeito mais frequente, sendo observadas em 46% das estações.

Já o trecho 3 destacou-se por uma maior incidência de remendos, presentes em 44% das estações, o que supera os índices observados nos outros trechos. As trincas longitudinais curtas também apareceram entre os três defeitos mais comuns, sendo registradas em 42% das estações.

Não foram observadas ocorrências de afundamento plástico nas trilhas de roda ao longo do trajeto avaliado. Além disso, apenas 4 estações apresentaram defeitos de escorregamento (encontrados nos trechos 1 e 2) e trincas transversais longas (concentradas no trecho 3), representadas em apenas 2,67% de todas as estações registradas, e 3,33% apresentaram panela.

Esses dados mostram semelhanças ao estudo de Gabriel (2021) que apresentou resultados próximos a este trabalho. Assim como nesse estudo, os remendos apareceram entre os três defeitos mais frequentes, registrado em 14 das 44 estações detectadas (31,8%). O pavimento analisado foi classificado como "ruim", mesma classificação atribuída ao trecho 1 e 3 neste estudo. Em comparação ao trecho 2, o estudo de Gabriel (2021) também destacou as trincas em couro de jacaré como o segundo defeito mais comum, identificado em 15 estações (34,1%). Quanto à análise geral, o estudo de Gabriel destaca as trincas longitudinais isoladas como a patologia mais comum aparecendo em mais de 50% das estações, enquanto neste estudo, embora as trincas longitudinais isoladas também estejam entre as patologias mais frequentes, ocupam apenas o terceiro lugar em ocorrência.

#### **4.3. Correlação entre IGG e classificação do volume de tráfego**

Apesar da ausência de dados numéricos de tráfego nesta pesquisa, foi possível identificar uma relação consistente entre o índice numérico (IGG) e a classificação de tráfego sugerida na caracterização de tráfego desse estudo. As categorias de tráfego leve, médio e alto, definidas com base em critérios qualitativos e observacionais, encontram respaldo nos resultados do IGG, mesmo sem informações quantitativas detalhadas.

A análise comparativa entre os valores do IGG e as categorias de tráfego indicou que a rodovia classificada com tráfego leve apresentou menor índice de gravidade global, enquanto as de tráfego moderado e alto refletiram maiores níveis de deterioração. Esses resultados reforçam a validade da abordagem adotada para caracterizar o tráfego e destacam o IGG como um indicador acessível para estudos em contextos onde dados quantitativos de tráfego não estão disponíveis.

#### 4.4. Propostas de atividades de manutenção e reabilitação (M&R) das rodovias

Ao considerar-se tanto o Índice de Gravidade Global (IGG) quanto os defeitos predominantes em cada trecho, é possível apresentar recomendações para atividades de manutenção e reabilitação nos três trechos analisados. As propostas foram elaboradas com base no Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos (DNIT, 2006).

##### a) Intervenções para o trecho 1

A partir dos resultados explorados neste capítulo, as seguintes atividades são propostas para intervir nos defeitos identificados no trecho 1:

- **Fresagem e recomposição localizada:** realizar fresagem nas áreas com afundamentos locais e remendos defeituosos. A remoção e substituição das camadas superficiais nessas áreas corrigem os desníveis, melhoram a uniformidade e restauram a resistência estrutural.
- **Recapeamento asfáltico parcial:** aplicar uma nova camada asfáltica em áreas desgastadas, especialmente em superfícies que apresentem desgaste severo visível, para aumentar a durabilidade e proteger a estrutura do pavimento.
- **Reforço das áreas reparadas:** em pontos onde o afundamento de consolidação local é frequente, recomenda-se fortalecer a base do pavimento para prevenir o retorno do problema. Esse procedimento inclui a aplicação de materiais de base mais resistentes, que ajudam a suportar o tráfego.

Essas intervenções são recomendadas para corrigir erros, restaurando a uniformidade e aumentando a vida útil do pavimento.

##### b) Intervenções para o trecho 2

O trecho em condição péssima apresenta defeitos graves, incluindo desgaste avançado e trincamento em couro de jacaré com e sem erosão, que indicam uma perda de integridade estrutural e sinais de fadiga nas camadas inferiores. As intervenções sugeridas são:

- **Reabilitação completa com fresagem e reconstrução de camadas:** realizar fresagem profunda para remover as camadas desgastadas e com trincamento. A

cobertura completa do pavimento é recomendada, atualizando as camadas de rolamento, base e sub-base, para restaurar a capacidade estrutural e funcional.

- **Estabilização de solo e reforço profundo:** nos locais mais críticos, é necessária a estabilização do solo e a aplicação de um reforço profundo. Esse procedimento visa fortalecer a base do pavimento, aumentando a resistência à carga e minimizando a ocorrência de novas trincas.
- **Aplicação de nova camada asfáltica:** aplicar uma camada de asfalto de alta qualidade para garantir que a superfície final tenha resistência ao desgaste e suporte ao tráfego intenso, prevenindo o retorno de trincas e de outros danos superficiais.

Essas ações visam restaurar a integridade estrutural do pavimento e prevenir o surgimento de novos danos, garantindo segurança e durabilidade para a via.

### c) **Intervenções para o trecho 3**

As intervenções recomendadas são de natureza preventiva, evitando a evolução dos defeitos:

- **Selagem de trincas longitudinais:** realizar a selagem de trincas longitudinais curtas para impedir a infiltração de água, que pode comprometer as camadas inferiores e acelerar a manipulação do pavimento.
- **Microrrevestimento asfáltico preventivo:** aplicar um microrrevestimento asfáltico sobre a superfície desgastada. Esse tratamento cria uma camada protetora que preserva a camada de rolamento, aumentando a resistência ao desgaste superficial e diminuindo a necessidade de futuras manutenções.
- **Reparos em remendos existentes:** em áreas onde os remendos apresentam leve desgaste ou desníveis, realizar uma correção para melhorar a uniformidade e o conforto da superfície de rolamento. Pequenos reparos nessas áreas estreitas para evitar o agravamento do desgaste ao longo do tempo.

Essas intervenções preventivas e corretivas de nível são recomendadas para prolongar a vida útil do pavimento, mantendo a qualidade funcional e estrutural do trecho em condição regular.

#### **d) Panorama geral das intervenções propostas**

Ressalta-se que a execução dessas atividades deve ser feita mediante projeto, considerando também o volume de tráfego, as condições climáticas e o papel da via na rede rodoviária, garantindo, assim, instruções adequadas e economicamente viáveis. Além disso, com uma análise mais detalhada das severidades e da extensão dos defeitos, é possível aplicar o método de árvore de decisão de Fernandes Jr. e Pantigoso (1998) para definir com maior precisão as atividades de Manutenção e Reabilitação (M&R) previstas.

Essas recomendações estão alinhadas com as diretrizes da literatura e estudos como o de Silva (2019), que também utilizam o IGG para definir disposições em pavimentos. No entanto, as soluções variam em função da severidade dos danos: enquanto as faixas avaliadas por Silva em condição ruim exigiram recapeamento e selagem de trincas, o trecho 2 deste estudo, em condição péssima, exige reabilitação completa. Este confronto destaca a importância de adaptar as atividades de manutenção e reabilitação conforme a condição específica de cada pavimento, maximizando a vida útil e otimizando recursos para manter a funcionalidade e segurança das vias.

#### **4.5. Considerações finais**

Os resultados obtidos ao longo deste estudo reforçam a importância do monitoramento contínuo das condições das rodovias para garantir sua funcionalidade e segurança. O IGG mostrou-se coerente com a classificação de tráfego sugerida no trabalho, com valor numérico menor no trecho considerado de tráfego leve e maior no trecho de tráfego intenso. De forma geral, os índices obtidos indicam condições de ruins a péssimas dos pavimentos, o que também é perceptível pelos usuários frequentes das rodovias, concluindo assim que os trechos foram bem representados pelos quilômetros avaliados.

Durante a avaliação, foram identificados quase todos os tipos de defeitos descritos pelo método do DNIT, com exceção do afundamento plástico local. Muitos desses defeitos foram encontrados em condições severas, principalmente no trecho mais crítico, evidenciando a necessidade de intervenções prioritárias. Este cenário é ainda mais alarmante quando considerada a relevância estratégica das rodovias PA-151 e PA-252, as quais conectam a capital Belém a Abaetetuba, a sétima cidade mais populosa do estado, além de outras cidades de importância econômica, como Barcarena, que possui um dos maiores PIBs do Pará. Logo, essas

rodovias são essenciais para o desenvolvimento econômico e social da região, além de atenderem outras cidades importantes do estado como Tailândia, Tucuruí e Marabá.

As conclusões realizadas e os dados encontrados neste trabalho fornecem uma base sólida para nortear as atividades de manutenção e reabilitação (M&R) possíveis. A análise permite priorizar os trechos mais críticos e definir as ações mais adequadas para a recuperação da funcionalidade das rodovias. Com a recente concessão do trecho 2 avaliado, espera-se que sejam feitas melhorias de forma eficiente, dado que esse foi o objetivo principal do processo de concessão. O presente trabalho, então, reforça a urgência dessas ações e contribui para um planejamento mais eficaz, em benefício de todos os usuários e da infraestrutura regional.

## 5 CONCLUSÃO

O objetivo deste trabalho foi investigar e analisar os defeitos encontrados no trajeto de Abaetetuba até o Porto do Arapari, dado pela PA-252 e PA-151, definindo a condição do pavimento baseado no cálculo do IGG pelo método do DNIT 006/2003 - PRO. Dessa forma, foram realizadas inspeções em campo que permitiram avaliar o índice de gravidade global do pavimento para cada trecho especificado.

A realização do trabalho é relevante por seu caráter pioneiro ao abordar técnicas a condição dos pavimentos nas rodovias de acesso aos municípios do interior do Pará. Uma análise detalhada dos trechos avaliados, em rodovias de grande circulação e importância econômica, é fundamental para a implementação de um Sistema de Gerência de Pavimentos (SGP), ferramenta que otimiza investimentos e reduz custos de manutenção, promovendo melhorias na infraestrutura viária e contribuindo para o desenvolvimento sustentável da região. A análise atual também fornece uma base comparativa para avaliar a efetividade, especialmente em trechos recentemente concedidos a iniciativas privadas, permitindo um planejamento mais eficiente de ações de conservação e aperfeiçoamento viário.

Os principais resultados alcançados foram:

- **Conceito do IGG:**

- IGG médio = 142,01 (conceituado como ruim).

- **Defeitos mais e menos frequentes:**

- Os defeitos mais frequentes encontrados foram: o desgaste (64,67%), remendos (35,33%), trincas transversais curtas (35,33%) e trincas longitudinais curtas (33,33%);
- Os defeitos menos frequentes foram: afundamento plástico nas trilhas de rodas (0%), escorregamento (2,67%), trincas transversais longas (2,67%) e panela (3,33%).

- **Trecho mais e menos crítico:**

- Trecho mais crítico: 2 (PA-151, entre Colônia Velha e Alça-Viária), IGG = 210,46 (péssimo);
- Trecho menos crítico: 3 (PA-151, entre Alça Viária e Porto do Arapari), IGG = 94,2 (ruim).

- **Atividades de M&R sugeridas:**

- Trecho 1: fresagem localizada, recapeamento parcial e reforço estrutural em áreas críticas;
- Trecho 2: reabilitação completa com fresagem profunda, estabilização de solo e aplicação de nova camada asfáltica;
- Trecho 3: ações preventivas como selagem de trincas, microrrevestimento asfáltico e reparos em reparos desgastados.

### **5.1. Sugestões para trabalhos futuros**

Ao longo deste trabalho, algumas limitações foram enfrentadas devido a restrições de tempo, orçamento e disponibilidade de dados. Assim, destacamos a seguir algumas sugestões para aprimoramentos e novas abordagens para pesquisas futuras:

- Incorporação do histórico de construção e dados de manutenção da via: incluir informações sobre a construção e manutenções passadas das vias para enriquecer a análise do desempenho do pavimento ao longo do tempo.
- Inclusão de dados de tráfego: adicionar dados sobre o volume e tipos de tráfego para melhorar a compreensão dos fatores de desgaste nas rodovias.
- Aumento da quantidade de trechos pesquisados: expandir o número de trechos detalhados para garantir resultados mais representativos e permitir comparações regionais.
- Aplicação do método em outras rodovias do Pará: testar o método em outras rodovias para verificar sua aplicabilidade em diferentes condições.
- Comparação com outros métodos, como ICP e IRI: utilizar métodos como ICP e IRI para comparar com o IGG, possibilitando uma avaliação mais completa.
- Periodicidade de levantamentos: realizar avaliações periódicas para construir uma base histórica que facilite o planejamento de manutenção preventiva.

## REFERÊNCIAS

- AASHTO. **Pavement management guide**. American Association of State Highway and Transportation Officials. 2 Ed. Washington, DCC/USA, 2012.
- AMEKUDZI, A. A.; ATTOH-OKINE, N. O. **Institutional issues in implementation of pavement management systems by local agencies**. Sage Journals. Department of Civil and Environmental Engineering, Florida International University, Miami, v. 1524, p. 10-15, 1996.
- BALADI, M. Y. **“Pavement Condition Index – Remaining Service Life”**. **Pavement Manegment Implementation, ASTM STP 1121, Frank B. Holt and Wade L. Gramling, Eds.** American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 1992.
- BERNUCCI, L. B.; MOTTA, L. M. G.; SOARES, J. B.; CERATTI, J. A. P. **Pavimentação Asfáltica: Formação Básica para Engenheiros**. Rio de Janeiro: PETROBRAS: ABEDA, 2008.
- BERNUCCI, L. B.; MOTTA, L. M. G.; SOARES, J. B.; CERATTI, J. A. P. **Pavimentação Asfáltica: Formação Básica para Engenheiros**. Rio de Janeiro: PETROBRAS: ABEDA, 2ª edição, 2022. 756p.
- CAREY, W. N.; IRICK, P. E. **The Pavement Serviceability: Performance Concept**. Highway Research Board - Bulletin 250, p. 40-58. Washington, DCC/USA, 1960.
- CARVALHO, P. H. F. C. **Coleta de dados de inventário e levantamento de defeitos com smartphones e tratamento por meio de aprendizado de máquina para uso em sistemas de gerência de pavimentos**. 71 f. Mestrado (Engenharia de Transportes) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2020.
- CNT- Confederação Nacional de Transporte. **Pesquisa CNT de rodovias 2022: Relatório Gerencial**. Brasília: CNT: SEST: SENAT, 2023. Disponível em: <https://pesquisarodovias.cnt.org.br/conteudo>. Acesso em: 16 de outubro de 2024.
- COMASSETTO, Eduarda Garcia. **Manifestações patológicas em pavimento asfáltico: estudo de caso: rodovia ERS-348**. Trabalho de conclusão de curso (Bacharel em Engenharia Civil) – Universidade de Santa Cruz do Sul, Santa Cruz do Sul, 2019.
- DNIT. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semirrígidos – Procedimento - Norma DNIT 006/2003 – PRO**. Instituto de Pesquisas Rodoviárias, Rio de Janeiro, 2003.
- DNIT. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Defeitos nos pavimentos flexíveis e semirrígidos – Terminologia – Norma DNIT 005/2003 – TER**. Instituto de Pesquisas Rodoviárias, Rio de Janeiro, 2003.
- DNIT. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Levantamento para avaliação da condição de superfície de subtrecho homogêneo de rodovias de pavimentos flexíveis e semirrígidos para Gerência de Pavimentos e Estudos e Projetos. – NORMA DNIT 007/2003 – PRO**. Instituto de Pesquisas Rodoviárias, Rio de Janeiro, 2003.

DNIT. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Manual de Gerência de Pavimentos**. 2. ed. Instituto de Pesquisas Rodoviárias, Rio de Janeiro, 2011.

DNIT. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Manual de Restauração de pavimentos asfálticos**. 2. ed. Instituto de Pesquisas Rodoviárias, Rio de Janeiro, 2006.

DNIT. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Pavimentação – Base estabilizada granulometricamente – Especificação de serviço – Norma DNIT 141/2022–ES**. Instituto de Pesquisas Rodoviárias, Rio de Janeiro, 2022.

FERNANDES JÚNIOR, J. L.; ODA, S.; ZERBINI, L. F. **Defeitos e atividades de manutenção e reabilitação em pavimentos asfálticos**. Apostila. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos – SP, 1999.

FERNANDES JR., J. L. **Sistemas de Gerência de Pavimentos para Cidades de Médio Porte**. Tese de Livre Docência – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001, 109 p.

FERNANDES Jr., J. L.; PANTIGOSO, J. F. G. **Compatibilização da gerência de pavimentos urbanos com as concessionárias de serviços públicos com o uso de SIG**. XI ANPET – Congresso Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes. Rio de Janeiro, 1997.

GABRIEL, Guilherme Cesar; VERDADE, Lucas Lauer. **Avaliação dos defeitos de pavimento flexível através do método do Índice de Gravidade Global (IGG) em Apucarana-PR**. Revista de Engenharia e Tecnologia, v. 13, n. 4, p. 18-27, dez. 2021.

GONÇALVES, F. P. **Utilização de Expert Systems na Manutenção de Pavimentos**. Tese M.Sc., ITA, São José dos Campos, 1997.

GOVERNO DO ESTADO DO PARÁ. Governo do Estado entrega asfaltamento da PA-252. Disponível em: <<https://agenciapara.com.br/pauta/5230/governo-do-estado-entrega-asfaltamento-da-pa-252>>. Acesso em: 26 ago. 2024.

GOVERNO DO ESTADO DO PARÁ. Governo do Pará inicia obra de asfaltamento da PA-151, que interliga 4 regiões do estado. Disponível em: <<https://www.agenciapara.com.br/noticia/50227/governo-do-para-inicia-obra-de-asfaltamento-da-pa-151-que-interliga-4-regioes-do-estado>>. Acesso em: 26 ago. 2024.

HAAS, R. C. G., HUDSON W.R., ZANIEWSK J. P. **Modern Pavement management**. Krieger Publishing Company. Malabar, Florida, 1994.

HAAS, R. C. G., HUDSON, W.R. **Pavement Management System**. McGraw-Hill. New York, 1978.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Panorama do município de Abaetetuba, PA. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pa/abaetetuba/panorama>>. Acesso em: 26 de agosto de 2024.

KHATTAK, M. J. e ALRASHIDI, M. **Avaliação de Tratamentos de Manutenção de Pavimentos Flexíveis Usando Dados do LTPP**. Reunião Anual 83ª do Transportation Research Board. Washington, D.C., 2004.

Lee, H. (1992). **Standardization of Distress Measurements for the Network-Level Pavement Management System**. Pavement Management Implementation. ASTM STP 1121, Frank B. Holt and Wade L. Gramling, Eds., American Society for Testing and Materials. Philadelphia, 1992.

MACENA, L. N. **Considerações sobre a Avaliação Subjetiva e Objetiva para a Implementação de um Sistema de Gerência de Pavimentos Urbanos**. Monografia de Projeto Final II, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 76 p, 2019.

MAPC. **Pavement Management, A Manual for Communities**. U. S. Department of Transportation. Metropolitan Area Planning Council, Boston, MA, 1986.

MEDINA, J. **Mecânica dos Pavimentos**. Editora UFRJ. Rio de Janeiro, 1997.

MIRANDA, Thyago & TAVARES MARTINS, Ana. **Sociobiodiversidade e conservação na Amazônia: o caso da feira livre de Abaetetuba, Pará, Brasil**. Mundo Amazônico. 12. 235-261. 2021.

ODA, S. Apostila Sistema de gerência de pavimentos. Escola de engenharia de São Carlos, 2016.

PEREIRA, A. M. **Um Método Expedito de Avaliação de Pavimentos Flexíveis e Semirrígidos**. Publicação 607, IPR. Rio de Janeiro, 1976.

PIRES, C. A. B. **Considerações sobre métodos de avaliação subjetiva e objetiva de pavimentos urbanos: o caso de Valparaíso de Goiás – GO**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2019.

PREFEITURA MUNICIPAL DE ABAETETUBA. O município de Abaetetuba. Disponível em: <<https://www.abaetetuba.pa.gov.br/omunicipio.php>>. Acesso em: 26 de agosto de 2024.

QUEIROZ, Sarah Lima. **Os efeitos em infraestrutura de transporte rodoviário sobre o crescimento econômico brasileiro**. 2017. Dissertação (Mestrado em Economia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2017.

SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE E SUSTENTABILIDADE DO PARÁ. **Anuário climatológico do Estado do Pará: ano 2021**. 2021. Disponível em: <[https://semas.pa.gov.br/hidromet/webroot/anuarios\\_climatologicos/Anu%C3%A1rio-Climatol%C3%B3gico-do-Estado-do-Par%C3%A1-Ano-2021.pdf](https://semas.pa.gov.br/hidromet/webroot/anuarios_climatologicos/Anu%C3%A1rio-Climatol%C3%B3gico-do-Estado-do-Par%C3%A1-Ano-2021.pdf)>. Acesso em: 04 dez. 2024.

SHRP. **Distress Identification Manual for the Long-Term Pavement performance Studies**. The Strategic Highway Research Program. National Academy of Science. Washington, D.C., 1993.

SILVA, Erika Jayrane Alves da; LAVOR, Laura Esmeraldo Arraes de. **Estruturação da base de dados do sistema de gerência de pavimentos urbanos aplicado ao bairro de Casa Forte no Recife**. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso.

SILVA, Fabíola Danívia da. **Avaliação superficial de pavimentos através do método IGG (Índice de Gravidade Global): estudo de caso em um trecho na Av. Moxotó em Paulo Afonso – Bahia**. 2021. 52 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Unidade Delmiro Gouveia - Campus do Sertão, Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Alagoas, Delmiro Gouveia, 2021.

SILVA, Jhenifer de Paula da. **Aplicação do Método do IGG – Índice de Gravidade Global – em comparação com o Método do PCI – Pavement Condition Index – para determinação de serviços de restauração e manutenção em um trecho da Avenida Tupi de Pato Branco-PR**. 2018. 84 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2018.

SILVA, Lauro Lúcio Martins. **Avaliação Superficial de Pavimentos, usando o método IGG (Índice de Gravidade Global): Um estudo de caso, em um trecho na Av. Anhanguera, em Goiânia, Goiás**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Transportes), Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Goiânia, 2019.

YODER, E. J., WITCZAK, M. W., **Principles of Pavement Design**, 2 ed., New York, John Wiley & Sons Inc., 1975.

ZHANG, Z.; JAIPURIA, S. MURPHY, M. R.; SIMS, T. GARZA JR., T. **Pavement Preservation – Performance Goal and Its Implications**. Transportation Research Record Magazine, 2150. 2010.



## APÊNDICE A

TRECHO 1																																			
Estação			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30			
Faixa			E	D	E	D	E	D	E	D	E	D	E	D	E	D	E	D	E	D	E	D	E	D	E	D	E	D	E	D	E	D			
Tipo	OK	Sem defeito																						X											
1	F1	Fissuras		X																					X										
FCI	TTC	Trincas transversais curtas				X		X	X	X			X				X					X					X	X				X			
	TTL	Trincas transversais longas																																	
	TLC	Trincas longitudinais curtas				X	X					X		X			X	X				X					X	X				X			
	TLL	Trincas longitudinais longas	X						X							X			X	X		X				X									
	TRR	Trincas isoladas retração	X		X				X	X									X			X					X	X				X			
2	J	Couro de jacaré		X					X												X		X			X		X	X	X	X				
FCII	TB	Trincas em bloco																																	
3	JE	Couro de jacaré com erosão							X						X	X			X										X						
FCIII	TBE	Trincas em bloco com erosão																																	
	ALC	Afundamento consolidação local		X						X						X			X				X					X	X	X					
	ATC	Afundamento consolidação trilha																																	
4	ALP	Afundamento plástico local																																	
	ATP	Afundamento plástico trilha																																	
5	O	Ondulação																						X						X					
	P	Panela																											X	X					
	E	Escorregamento																									X								
6	EX	Exsudação																											X						
7	D	Desgaste	X	X																								X	X	X					
8	R	Remendo						X		X	X	X												X		X		X	X						
	TRI	Trilha de roda interna (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	TRE	Trilha de roda externa (mm)	1	3	0	0	0	1	0	2	0	1	0	0	0	2	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0	2	0	9	14	13	0	0

			TRECHO 1																	TRECHO 2													
Estação			31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Faixa			E	D	E	D	E	D	E	D	E	D	E	D	E	D	E	D	E	D	E	D	D	E	D	E	D	E	D	E	D	E	
Tipo	OK	Sem defeito																															
1	F1	Fissuras		X	X																			X	X			X		X	X		
FCI	TTC	Trincas transversais curtas					X					X			X					X		X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	
	TTL	Trincas transversais longas																															
	TLC	Trincas longitudinais curtas				X		X							X	X	X				X		X							X			
	TLL	Trincas longitudinais longas									X								X					X	X			X		X	X	X	
	TRR	Trincas isoladas retração			X			X						X							X	X											
2	J	Couro de jacaré	X	X	X																		X	X	X	X	X	X					
FCII	TB	Trincas em bloco																						X	X								
3	JE	Couro de jacaré com erosão									X												X				X	X		X	X		
FCIII	TBE	Trincas em bloco com erosão																						X									
	ALC	Afundamento consolidação local	X	X	X				X	X	X	X	X		X				X			X			X		X		X		X		
	ATC	Afundamento consolidação trilha																						X		X		X					
4	ALP	Afundamento plástico local																						X								X	
	ATP	Afundamento plástico trilha																															
5	O	Ondulação																						X									
	P	Panela									X														X								
	E	Escorregamento																															
6	EX	Exsudação																								X	X			X		X	
7	D	Desgaste	X	X			X	X	X	X	X	X		X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
8	R	Remendo	X	X	X		X			X		X		X	X	X		X				X	X		X	X							
	TRI	Trilha de roda interna (mm)	0	0	0	0	1	0	2	2	0	0	0	1	5	0	0	0	0	1	0	3	0	3	4	8	4	2	2	5	4	2	
	TRE	Trilha de roda externa (mm)	1	2	3	0	0	0	0	4	20	13	5	0	0	0	0	0	1	2	0	0	13	2	23	5	2	1	5	3	1	2	

			TRECHO 2																																					
Estação			11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40								
Faixa			D	E	D	E	D	E	D	E	D	E	D	E	D	E	D	E	D	E	D	E	D	E	D	E	D	E	D	E	D	E	D	E						
Tipo	OK	Sem defeito																																						
1	F1	Fissuras	X	X		X	X	X	X				X					X				X			X		X		X		X									
FCI	TTC	Trincas transversais curtas								X	X	X		X	X		X			X	X	X						X												
	TTL	Trincas transversais longas																																						
	TLC	Trincas longitudinais curtas							X					X	X	X			X		X			X				X												
	TLL	Trincas longitudinais longas	X		X							X	X							X											X									
	TRR	Trincas isoladas retração		X		X	X				X							X		X											X									
2	J	Couro de jacaré			X				X	X		X			X	X	X					X			X		X		X											
FCII	TB	Trincas em bloco									X		X	X		X									X		X		X		X		X							
3	JE	Couro de jacaré com erosão	X	X		X	X	X	X				X	X				X		X		X						X				X	X							
FCIII	TBE	Trincas em bloco com erosão					X	X										X		X										X										
	ALC	Afundamento consolidação local						X	X			X												X		X														
	ATC	Afundamento consolidação trilha	X	X	X	X	X				X		X	X							X		X					X		X		X								
4	ALP	Afundamento plástico local				X												X															X							
	ATP	Afundamento plástico trilha																																						
5	O	Ondulação						X				X																												
	P	Panela						X																																
	E	Escorregamento						X				X																												
6	EX	Exsudação						X																																
7	D	Desgaste	X	X	X	X	X	X	X			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X						
8	R	Remendo										X					X	X	X	X	X	X		X	X		X				X		X							
	TRI	Trilha de roda interna (mm)	2	2	1	1	1	0	0	0	1	2	4	1	0	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0							
	TRE	Trilha de roda externa (mm)	1	3	1	2	1	48	1	0	1	30	2	2	0	0	0	6	0	2	0	1	2	0	2	0	3	0	1	0	1	4								

TRECHO 2			TRECHO 3																														
Estação			41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
Faixa			D	E	D	E	D	E	D	E	D	E	E	D	E	D	E	D	E	D	E	D	E	D	E	D	E	D	E	D	E	D	
Tipo	OK	Sem defeito																															
1	F1	Fissuras																															
FCI	TTC	Trincas transversais curtas	X		X				X				X			X	X	X			X		X	X		X				X		X	
	TTL	Trincas transversais longas																	X					X		X							
	TLC	Trincas longitudinais curtas	X	X									X	X		X		X	X	X	X	X	X	X		X							
	TLL	Trincas longitudinais longas													X		X																
	TRR	Trincas isoladas retração		X	X	X		X		X	X														X								
2	J	Couro de jacaré		X		X	X	X	X	X											X									X			
FCII	TB	Trincas em bloco										X										X		X									
3	JE	Couro de jacaré com erosão																				X								X			
FCIII	TBE	Trincas em bloco com erosão																															
	ALC	Afundamento consolidação local																				X								X			
	ATC	Afundamento consolidação trilha				X		X		X																							
4	ALP	Afundamento plástico local										X			X									X					X				
	ATP	Afundamento plástico trilha																															
5	O	Ondulação												X																			
	P	Panela																															
	E	Escorregamento										X																					
6	EX	Exsudação																				X		X									
7	D	Desgaste	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X			X						X	X			X		X	X	X	X	X
8	R	Remendo									X		X		X	X		X	X		X	X			X		X	X					
	TRI	Trilha de roda interna (mm)	0	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	
	TRE	Trilha de roda externa (mm)	0	1	0	0	0	2	0	1	0	5	3	0	4	0	0	0	0	1	4	0	16	2	0	0	1	5	3	0	0	0	

TRECHO 3																																
Estação			2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	5			
Faixa			1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
			E	D	E	D	E	D	E	D	E	D	E	D	E	D	E	D	E	D	E	D	E	D	E	D	E	D	E	D	E	D
Tipo	OK	Sem defeito																														
1	F1	Fissuras																														
FCI	TTC	Trincas transversais curtas		X				X			X		X		X	X					X											
	TTL	Trincas transversais longas																						X								
	TLC	Trincas longitudinais curtas	X	X	X											X	X	X			X			X			X		X		X	
	TLL	Trincas longitudinais longas																		X							X		X		X	
	TRR	Trincas isoladas retração		X		X			X				X		X					X		X	X					X				
2	J	Couro de jacaré											X		X							X						X				
FCII	TB	Trincas em bloco																														
3	JE	Couro de jacaré com erosão				X		X																								
FCII I	TBE	Trincas em bloco com erosão																														
	AL C	Afundamento consolidação local				X	X					X				X																
	AT C	Afundamento consolidação trilha																														
4	ALP	Afundamento plástico local																														
	ATP	Afundamento plástico trilha																														
5	O	Ondulação																														
	P	Panela																														
	E	Escorregamento																														
6	EX	Exsudação																														
7	D	Desgaste	X	X	X					X	X	X	X	X	X		X	X	X	X		X	X						X			
8	R	Remendo		X		X	X	X		X						X						X				X	X	X	X		X	
	TRI	Trilha de roda interna (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
	TRE	Trilha de roda externa (mm)	0	3	0	8	5	0	0	0	0	2	1	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	