



Universidade Estadual
da Região Tocantina
do Maranhão

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA REGIÃO TOCANTINA DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS, SOCIAIS, TECNOLÓGICAS E LETRAS
CAMPUS AÇAILÂNDIA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL BACHARELADO**

ADRYA BRUNORO

**AS PRINCIPAIS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS DO PAVIMENTO ASFÁLTICO
NA BR-010, NO TRECHO ENTRE DOM ELISEU-PA E ITINGA DO PARÁ-PA.**

Açailândia – MA

2026



Universidade Estadual
da Região Tocantina
do Maranhão

ADRYA BRUNORO

**AS PRINCIPAIS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS DO PAVIMENTO ASFÁLTICO
NA BR-010, NO TRECHO ENTRE DOM ELISEU-PA E ITINGA DO PARÁ-PA.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil Bacharelado do Centro de Ciências Humanas, Sociais, Tecnológicas e Letras da Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão, Campus Açailândia, como requisito para o grau de bacharelado em Engenharia Civil.

Orientadora: Dra. Regiane Késsias de Sousa Lira

Coorientador: Prof.^a Esp. Mário Silva De Lucena.

B898p

Brunoro, Adrya

As principais manifestações patológicas do pavimento asfáltico na BR-010, no trecho entre Dom Eliseu-PA e Itinga Do Pará-PA. / Adrya Brunoro. – Açailândia: UEMASUL, 2026.

59 f. ; il.

Monografia (Curso de Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão – UEMASUL, Açailândia, MA, 2026.

Orientadora: Prof^ª. Dra. Regiane Késsias de Sousa Lira.

1. Pavimento Flexível. 2. Patologias rodoviárias. 3. Levantamento Visual Contínuo. I. Título.

CDU 624



Universidade Estadual
da Região Tocantina
do Maranhão

ADRYA BRUNORO

**AS PRINCIPAIS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS DO PAVIMENTO ASFÁLTICO
NA BR-010, NO TRECHO ENTRE DOM ELISEU-PA E ITINGA DO PARÁ-PA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil Bacharelado do Centro de Ciências Humanas, Sociais, Tecnológicas e Letras da Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão, Campus Açailândia, como requisito para o grau de bacharelado em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof.^a Dra. Regiane Késsias de Sousa Lira

Coorientador: Prof. Esp. Mário Silva De Lucena.

APROVADA EM: 12/06/2026

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
gov.br REGIANE KESSIAS DE SOUSA LIRA
Data: 21/06/2026 19:00:24-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof.^a DRA. REGIANE KÉSSIAS DE SOUSA LIRA (Orientadora)
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão – UEMASUL

Documento assinado digitalmente
gov.br MARIO SILVA DE LUCENA
Data: 22/06/2026 11:53:32-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof.^a ESP. MÁRIO SILVA DE LUCENA
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão – UEMASUL

Documento assinado digitalmente
gov.br ANDREA FERRAZ SILVA PEREIRA
Data: 22/06/2026 12:49:28-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof.^a DRA. ANDREA FERRAZ SILVA PEREIRA
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão – UEMASUL



AGRADECIMENTOS

“Aqui dedico os meus agradecimentos.

Á Deus, por me contemplar, me escolher a cursar e concluir esse curso, quero agradecer por sempre se fazer presente e nunca me abandonar nessa trajetória. Em meios de todos desafios universitários, Deus me deu uma família que me fortaleceu todos os dias e que sempre me encorajou a chegar até aqui.

Á minha Mãe, Joelma da Silva Vieira que sonhou e idealizou toda uma minha vida a mim, te agradeço mãe por sempre ser meu sol em dias tão escuros, obrigada por ter sido tão presente nessa jornada, eu realmente precisava muito de todo o seu cuidado.

Á meu pai, Alcimar Brunoro, agradeço pelo a oportunidade que Deus me deu em ter um pai perfeito, dedicado e tão amoroso, agradeço por sempre me apoiar em tudo e sempre deixando qualquer situação tão mais leve, quando dizia: eu vou estar sempre com você.

Aos meus irmãos, Alcimara e João Pedro Brunoro, eu não saberia se chegaria até aqui sem vocês, obrigado por sempre me acolherem da forma mais bonita que existe, vocês dois são um pedaço de mim, amo vocês da forma mais genuína.

E por fim, minha orientadora, Prof.^a Dra. Regiane Késsias de Sousa Lira, agradeço por ter me ajudado tanto, por tanta paciência e ensinamentos. Obrigada por me estender a mão quando eu já não tinha mais nem forças para escolher orientador, e a senhora me ajudou até aqui.”



RESUMO

Este trabalho teve como objetivo avaliar as condições do pavimento da BR-010, no trecho entre Dom Eliseu – PA e Itinga do Pará – PA, buscando diagnosticar suas causas, avaliar os impactos quanto ao tráfego e segurança viária, bem como propor soluções técnicas adequadas para recuperação, manutenção e conservação do pavimento, contribuindo para a melhoria da infraestrutura rodoviária e para o aumento da vida útil da via. A pesquisa foi desenvolvida por meio de abordagem descritiva e aplicada, com realização de estudo de campo, registro fotográfico e aplicação do Levantamento Visual Contínuo (LVC), conforme critérios técnicos estabelecidos pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). O trecho analisado compreendeu aproximadamente 17 km, situado em uma região de tráfego intenso de veículos pesados, influência climática úmida e elevada importância logística para o deslocamento de pessoas e mercadorias. Os resultados evidenciaram avançado estado de degradação do pavimento, com presença de panelas, trincas, afundamentos, irregularidades superficiais, exsudação asfáltica e sinais de deficiência no sistema de drenagem. Verificou-se que tais patologias estão associadas, principalmente, à ação combinada do tráfego pesado, infiltração de água, ausência de manutenção preventiva eficiente e fragilidade estrutural progressiva do pavimento. Conclui-se que intervenções superficiais e isoladas não são suficientes para solucionar os problemas encontrados, sendo necessária a adoção de ações corretivas e preventivas mais abrangentes, como restauração dos trechos críticos, melhoria da drenagem, reconstrução de camadas comprometidas e fiscalização do excesso de carga, visando aumentar a vida útil da rodovia, melhorar a segurança dos usuários e favorecer o desenvolvimento regional.

Palavras-chave: Pavimento flexível; Patologias rodoviárias; Levantamento Visual Contínuo.



ABSTRACT

This study aimed to evaluate the pavement conditions of BR-010, in the section between Dom Eliseu, Pará, and Itinga do Pará, Pará, identifying the main pathological manifestations present on the roadway and proposing maintenance measures suitable for the observed conditions. The research was developed through a descriptive and applied approach, based on field study, photographic records and the application of the Continuous Visual Survey method, according to the technical criteria established by the National Department of Transport Infrastructure. The analyzed section comprised approximately 17 kilometers and is located in a region characterized by intense heavy vehicle traffic, humid climatic influence and high logistical importance for the movement of people and goods. The results showed an advanced state of pavement deterioration, with the presence of potholes, cracks, rutting, surface irregularities, asphalt bleeding and signs of deficiencies in the drainage system. These defects were mainly associated with the combined action of heavy traffic, water infiltration, lack of effective preventive maintenance and progressive structural weakening of the pavement. It is concluded that superficial and isolated repairs are not sufficient to solve the identified problems. Therefore, broader corrective and preventive actions are required, including restoration of critical sections, drainage improvement, reconstruction of compromised layers and enforcement of vehicle weight limits, aiming to extend the roadway service life, improve user safety and support regional development.

Keywords: Flexible pavement; Road pavement distresses; Continuous Visual Survey.



LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa do trecho analisado da BR-010 (Dom Eliseu–PA a Itinga do Pará–PA)	17
Figura 2 - Camadas do pavimento flexível	28
Figura 3 - Camadas do Pavimento Rígido	29
Figura 4 - Pavimentos Intertravados.....	31
Figura 5 - Manifestação de patologias no pavimento, com ocorrência de placas e trincas.....	39
Figura 6 - Exsudação.....	40
Figura 7 - Desgaste superficial (Exsudação asfáltica).....	41
Figura 8 - Trinca interligada tipo couro de jacaré.....	42
Figura 9 - Evolução de patologias, resultada em placa.....	44
Figura 10 - Deficiência na drenagem, causando degradação do pavimento.....	45
Figura 11 - Surgimento precoce das manifestações patológicas por falta de drenagem apta...	46
Figura 12 - Remendos no revestimento do tabuleiro da ponte, com presença de desníveis superficiais.....	47
Figura 13 - Fissura longitudinal.....	48



Universidade Estadual
da Região Tocantina
do Maranhão

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comparativo de Distribuição de Tensões	31
Tabela 2 - Diagnóstico e Ação	32
Tabela 3 - Matriz de Intervenção em Pavimentos	33
Tabela 4 - Matriz de Diagnóstico e Proposta de Intervenção Técnica para a BR-010.....	37



Universidade Estadual
da Região Tocantina
do Maranhão

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Principais defeitos em pavimentos flexíveis segundo o DNIT (2003)	19
---	----



SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 OBJETIVOS	16
2.1 Objetivo Geral.....	16
2.2 Objetivos Específicos.....	16
3 METODOLOGIA	17
3.1 Caracterização da Área De Estudo.....	17
3.2 Classificação da Pesquisa.....	18
3.3 Materiais e Equipamentos Utilizados.....	18
3.4 Procedimento de Coleta de Dados.....	20
3.5 Critérios de Classificação e Avaliação Normativa.....	20
3.6 Método de Proposição de Soluções Técnicas.....	21
4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	22
4.1 Infraestrutura Rodoviária e Dependência do Modal Rodoviário na Amazônia Oriental.....	22
4.2 Caracterização da Br-010 e Intensificação das Solicitações Mecânicas	22
4.2.1 Dinâmica de tráfego e função logística	22
4.2.2 Efeitos da repetição de cargas e fadiga estrutural	23
4.3 Estrutura dos Pavimentos e Resposta Mecânica às Solicitações	24
4.3.1 Sistema multicamadas e distribuição de tensões.....	24
4.3.2 Comportamento viscoelástico e sensibilidade à temperatura.....	25
4.4 Mecanismos Avançados de Degradação	26
4.4.1 Interação entre fadiga, umidade e deformação permanente.....	26
4.4.2 Perda de aderência e desagregação superficial	27
4.5 Classificação dos Pavimentos Segundo o Comportamento Estrutural	28
4.5.1 Pavimento flexível.....	28
4.5.2 Pavimentos Rígidos.....	29
4.5.3 Pavimentos Semirrígidos (ou Semicompósitos)	30
4.5.4 Pavimentos intertravados.....	30
4.6 Classificação Detalhada das Falhas e Manifestações Patológicas.....	31



4.6.1 Dinâmica de Progressão e Janela de Intervenção.....	32
4.7 Avaliação Técnica e Diagnóstico do Pavimento.....	33
4.8 Impactos da Degradação na Logística e Segurança.....	33
4.8.1 A gestão de ativos de pavimentação e o impacto no desenvolvimento nacional	34
4.9 Integração dos Fatores de Degradação.....	34
4.10 Durabilidade de Pavimento.....	35
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	37
5.1 Proposição de Diretrizes Técnicas para Recuperação do Trecho.....	37
5.2 Condições Gerais Da Rodovia.....	38
5.3 Ocorrência de Panelas, Trincas e Irregularidades Superficiais	38
5.4 Exsudação Asfáltica e Perda De Aderência.....	40
5.5 Trincas por Fadiga Tipo “Couro De Jacaré”.....	42
5.6 Deficiência no Sistema de Drenagem.....	43
5.7 Erosão nas Bordas e Perda de Suporte Lateral.....	44
5.8 Remendos e Desníveis no Tabuleiro da Ponte.....	46
5.9 Fissura Longitudinal no Bordo do Pavimento	47
5.10 Avaliação da Drenagem.....	49
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	51
REFERÊNCIAS.....	53
ANEXOS.....	57

1 INTRODUÇÃO

As estradas brasileiras ocupam um lugar central na conexão entre territórios e na movimentação de produtos, sobretudo onde faltam opções de transporte. Na Amazônia Oriental, essa centralidade torna-se ainda maior, pois praticamente toda a circulação entre cidades acontece por rodovia. A população utiliza essas vias para acessar serviços de saúde e educação, comercializar o que produz e realizar deslocamentos diários de pessoas e mercadorias. Assim, o estado dessas rotas, seja em boas condições ou degradado, influencia diretamente o desenvolvimento regional e afeta o bem-estar das populações locais (CNT, 2022).

Diante disso, a importância do transporte rodoviário para a economia brasileira é caracterizada pela sua capacidade de conseguir alcançar e conectar diferentes regiões, simplificando o comércio e o acesso a mercados. Ele é responsável pela movimentação de 65% de todas as cargas do país, de acordo com informações da Confederação Nacional de Transporte (CNT). Por sua vez, o Ministério do Transporte identifica que aproximadamente 75% das mercadorias transportadas em seu território utilizam o modal rodoviário (ABTLP, 2025).

É nesse contexto que se trata da temática a respeito das principais manifestações patológicas do pavimento asfáltico na BR-010, no trecho entre Dom Eliseu-PA e Itinga do Pará-PA. O trecho citado destaca-se pela importância logística e social, uma vez que registra intenso fluxo de veículos pesados. A via funciona como corredor para o transporte de produtos agrícolas, florestais e industriais, além de sustentar a mobilidade diária da população local. De acordo com a CNT (2021), rodovias com essas características apresentam maior tendência à deterioração, especialmente em áreas tropicais marcadas por temperaturas elevadas e altos índices de chuva, fatores que contribuem para o surgimento de diversas manifestações patológicas ao longo do pavimento.

O pavimento do trecho apresenta fissuras, deformações e desgaste superficial, fenômenos intensificados pelas características geotécnicas da região, marcada pela presença de solos lateríticos altamente sensíveis à saturação. Em ambientes úmidos, como a Amazônia Oriental, esses materiais tendem a perder resistência quando expostos à infiltração de água, acelerando os processos de deterioração. A situação agrava-se pela ausência de um sistema de drenagem plenamente eficiente e pela elevada solicitação do tráfego (Valente *et al.*, 2016).

Diversos autores renomados foram utilizados durante o desenvolvimento do trabalho, assim como normas técnicas, especialmente do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) e pontuações da entidade máxima de representação do setor de transporte e logística no Brasil, a Confederação Nacional do Transporte (CNT). A renomada engenheira

brasileira, Liedi Legi Bariani Bernucci; o Professor e Doutor, José Tadeu Balbo e Salomão Pinto também deram suas contribuições sobre a pavimentação asfáltica e manifestações patológicas.

A presente pesquisa apresenta elevada relevância acadêmica, prática/econômica e social. Começando pela relevância acadêmica, o estudo propicia contribuições consistentes para a ampliação do conhecimento técnico-científico sobre os processos de deterioração dos pavimentos flexíveis, abrindo possibilidades para serem realizadas análises das causas, características e consequências das patologias encontradas, tais como trincas, afundamentos, panelas, desgaste superficial e remendos. Além disso, surge a oportunidade de colocar em prática as normas técnicas do DNIT e de metodologias que são usadas engenharia de pavimentos (Annes, 2024).

Em relação ao aspecto prático e econômico, a pesquisa tem uma significativa importância quando se propõe analisar um trecho estratégico da BR-010, rodovia considerada essencial para o transporte de cargas, circulação de pessoas e integração regional. Estudos sobre deterioração de rodovias apenas ilustram que quando existe uma ausência de manutenção adequada os gastos públicos crescem consideravelmente, assim como aumentam o consumo de combustível, queda drástica na eficiência logística e interfere negativamente no escoamento da produção agrícola e comercial (Cabral Filho, 2023).

No aspecto social, o trabalho torna-se importante porque se preocupa em pontos determinantes como segurança e da qualidade de vida dos usuários da rodovia. As manifestações patológicas no pavimento interferem diretamente nas condições de trafegabilidade, e isso faz com que aumente o número de acidentes, dificultando o deslocamento da população que depende do uso diário da BR-010 para acesso a serviços, comércio, educação e saúde (Garcez; Simão, 2020).

O objetivo do trabalho consistiu em avaliar as condições do pavimento da BR-010, no trecho entre Dom Eliseu – PA e Itinga do Pará – PA, buscando diagnosticar suas causas, avaliar os impactos quanto ao tráfego e segurança viária, bem como propor soluções técnicas adequadas para recuperação, manutenção e conservação do pavimento, contribuindo para a melhoria da infraestrutura rodoviária e para o aumento da vida útil da via.

Em relação aos objetivos específicos, o primeiro é, analisar, por meio de revisão de literatura, pontos estratégicos a respeito de infraestrutura rodoviária, qualidade, classificação e avaliação dos pavimentos, fatores de degradação, durabilidade e segurança, ao mesmo tempo que discorrer a respeito das patologias e suas causas; registrar, por meio de documentação fotográfica, as condições atuais do pavimento ao longo do trecho investigado; identificar e

descrever as manifestações patológicas presentes na rodovia, conforme critérios técnicos estabelecidos pelo DNIT e propor soluções de manutenção adequadas aos danos identificados, a fim de melhorar a trafegabilidade, aumentar a segurança dos usuários e favorecer o desempenho operacional da rodovia.

Um aspecto crucial a ser considerado consiste na irregularidade das inspeções, fator que compromete a detecção antecipada de danos e reduz a efetividade das ações de manutenção. Conforme levantamentos do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, a inexistência de um monitoramento sistemático favorece a evolução das patologias, resultando no encarecimento das obras de recuperação. Além disso, a degradação da via coloca em risco a segurança dos usuários e prejudica a logística de transporte, gerando reflexos negativos na economia regional (DNIT, 2022; CNT, 2021).

Diante desse cenário, o presente estudo realiza a avaliação técnica do trecho atual da BR-010, utilizando metodologias consolidadas pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. O trabalho aplica o Levantamento Visual Contínuo (LVC), permitindo identificar, classificar e quantificar as manifestações patológicas presentes no pavimento. Essas ferramentas fornecem um diagnóstico preciso sobre o estado da rodovia (DNIT, 2003, 2021).

Diante do exposto, foi necessário responder ao seguinte questionamento: quais são os defeitos, suas causas e como esses pavimentos podem ser recuperados?

O trabalho encontra-se estruturado por meio de seções que, claramente formam o esqueleto do estudo e ajudam a atingir sua proposta. O primeiro capítulo apresenta o objetivo geral e os específicos do trabalho. No segundo capítulo é mostrada a metodologia, momento em que o tipo de pesquisa, área de estudo e levantamento de dados foi sintetizada. No terceiro capítulo trata da fundamentação teórica, e com o auxílio de autores renomados e normas técnicas pode-se construir algo consistente sobre o tema. Nos resultados e discussões pode-se mostrar algumas soluções técnicas, assim como quantificar os defeitos através de gráficos, cruzando com autores da literatura. E finalmente as considerações finais mostram um apanhado de todo o trabalho apresentado, mostrando como os objetivos foram alcançados.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar as condições do pavimento da BR-010, no trecho entre Dom Eliseu – PA e Itinga do Pará – PA, buscando diagnosticar suas causas, avaliar os impactos quanto ao tráfego e segurança viária, bem como propor soluções técnicas adequadas para recuperação, manutenção e conservação do pavimento, contribuindo para a melhoria da infraestrutura rodoviária e para o aumento da vida útil da via.

2.2 Objetivos Específicos

- a) Analisar, por meio de revisão de literatura, pontos estratégicos a respeito de infraestrutura rodoviária, qualidade, classificação e avaliação dos pavimentos, fatores de degradação, durabilidade e segurança, ao mesmo tempo que discorrer a respeito das patologias e suas causas
- b) Registrar, por meio de documentação fotográfica, as condições atuais do pavimento ao longo do trecho investigado;
- c) Identificar e descrever as manifestações patológicas presentes na rodovia, conforme critérios técnicos estabelecidos pelo DNIT;
- d) Propor soluções de manutenção adequadas aos danos identificados, a fim de melhorar a trafegabilidade, aumentar a segurança dos usuários e favorecer o desempenho operacional da rodovia.

3 METODOLOGIA

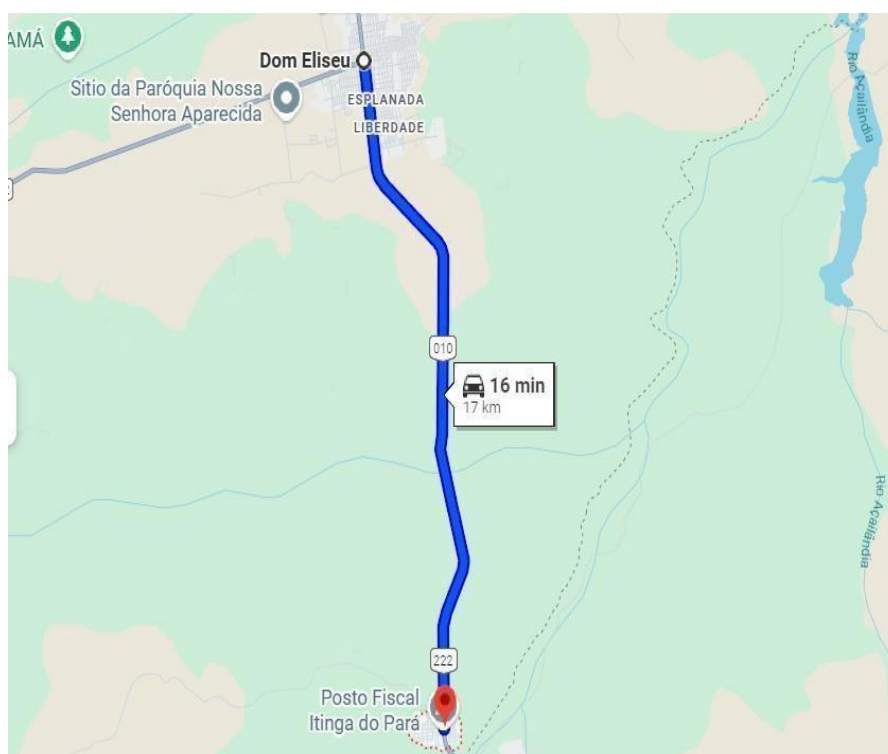
3.1 Caracterização Da Área De Estudo

A área de estudo foi o trecho da BR-010 localizado entre Dom Eliseu-PA e Itinga do Pará-PA, uma região onde o tráfego pesado é constante e onde as condições climáticas da Amazônia Oriental influenciam diretamente o estado do pavimento. Esse segmento já apresenta, atualmente, sinais claros de desgaste, o que o torna um espaço relevante para investigação. A Pesquisa CNT de Rodovias confirma que vias com grande movimentação de caminhões tendem a sofrer deterioração mais rápida, especialmente quando associadas a clima úmido e intensa solicitação estrutural (CNT, 2021).

Uma extensão de 17 km foi selecionada por concentrar, nas inspeções preliminares, o maior número de manifestações patológicas ao longo da BR-010. Além disso, esse trecho corresponde à área de maior fluxo de veículos pesados entre Dom Eliseu-PA e Itinga do Pará-PA, sendo tecnicamente representativo das condições estruturais atuais da rodovia.

A seguir, na Figura 1, é apresentada o mapa do trecho analisado da BR-010 (Dom Eliseu-PA a Itinga do Pará-PA):

Figura 1 - Mapa do trecho analisado da BR-010 (Dom Eliseu-PA a Itinga do Pará-PA).



Fonte: Google Maps.

O trecho analisado corresponde ao intervalo compreendido entre o km 20 e o 3 km da BR-010, totalizando aproximadamente 17 km, o levantamento adotou o Levantamento Visual Contínuo (LVC), conforme a DNIT 008/2003-PRO, que determina que a análise seja feita com o veículo em movimento a aproximadamente 40 km/h, garantindo registros consistentes, comparáveis e confiáveis (DNIT, 2003).

3.2 Classificação Da Pesquisa

Este estudo foi desenvolvido como pesquisa descritiva e aplicada, buscando compreender, com fidelidade, como o pavimento realmente se encontra. A pesquisa aplicada é voltada para a produção de conhecimentos que tenham finalidade prática, buscando solucionar problemas específicos ou propor melhorias para situações concretas (Marconi; Lakatos, 2021). A abordagem descritiva foi adequada porque permite observar a rodovia sem interferir nela, registrando os defeitos exatamente como se apresentam, o que facilita entender sua evolução e gravidade (Gil, 2019).

3.3 Materiais E Equipamentos Utilizados

Toda a metodologia seguiu as orientações da DNIT 008/2003-PRO, que traz critérios detalhados sobre como identificar, classificar e registrar patologias em pavimentos flexíveis (DNIT, 2003). Assim, durante o estudo pode-se registrar fotografias das condições reais da pista; identificar e caracterizar os tipos de defeitos e sugerir soluções de manutenção que contribuam para melhoraria trafegabilidade e a segurança dos usuários. Para isso, foi necessário usar trena metálica, régua de alumínio para medir afundamentos, GPS, caderneta de campo e planilhas de anotação. O objetivo não se resumiu apenas em avaliar o pavimento, mas compreender os fatores que influenciam sua degradação e indicar caminhos viáveis de intervenção.

O Quadro 1 apresenta os principais defeitos passíveis de ocorrência na BR-010, conforme a classificação oficial estabelecida pelo DNIT (2003).

Quadro 1 - Principais defeitos em pavimentos flexíveis segundo o DNIT (2003)

Tipo de Defeito	Ilustração	Características	Possíveis causas
Trincas Longitudinais		Fissuras paralelas ao eixo da via	Retração térmica, fadiga
Trincas em bloco		Quadros regulares no revestimento	Envelhecimento do ligante
Panelas		Perda Superficial profunda	Umidade, tráfego pesado
Afundamentos		Rebaixamento da Superfície	Problemas estruturais, deformação
Exsudação		Subida de Ligante	Temperaturas elevadas

Fonte: Adaptado de DNIT (2003).

A pesquisa de campo foi organizada em reconhecimento prévio e exame detalhado. Primeiramente, foram analisados mapas e registros, seguidos de visita ao local. Tal ação visa delimitar focos de patologias, agilizando o trabalho futuro. O conhecimento prévio dessas manifestações patológicas serviu como base de apoio para a identificação em campo e contribuiu para a padronização da avaliação que será desenvolvida ao longo da investigação.

3.4 Procedimento De Coleta De Dados

Inicialmente, foram coletados dados secundários junto a bases de dados especializadas, como o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) e a Confederação Nacional do Transporte (CNT). A coleta de dados seguiu o procedimento do Levantamento Visual Contínuo (LVC) conforme a DNIT 008/2003-PRO. Esse método permite realizar o registro visual das anomalias sem interromper o tráfego, tornando o processo mais seguro e eficiente para a equipe e para os usuários da rodovia (DNIT, 2003).

Durante o percurso, foram feitos registros fotográficos e observações sistemáticas sobre o tipo de defeito, sua severidade, extensão e localização. A classificação técnica foi baseada no Manual de Identificação de Defeitos do DNIT (DNIT, 2003), documento amplamente utilizado no setor rodoviário. Todos os dados foram organizados em planilhas padronizadas, permitindo compreender, com clareza, o comportamento do pavimento ao longo do trecho analisado.

3.5 Critérios De Classificação E Avaliação Normativa

As normas e manuais do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) e Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT) foram usados como base para identificar, medir e classificar o nível de severidade (baixa, média, alta) de cada defeito encontrado (fissuras, trincas, deformações, panelas, exsudação) no trecho da BR-010 localizado entre Dom Eliseu-PA e Itinga do Pará-PA. Além disso, quando foi necessário definir, por exemplo, se uma trinca era fina ou grossa, ou se um afundamento era baixo ou alto, buscou-se levar em consideração a norma DNIT 006/2003 – PRO, que consiste em estabelecer os procedimentos para a avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semirrígidos (DNIT, 2003).

3.6 Método De Proposição De Soluções Técnicas

A proposição das soluções técnicas para as manifestações patológicas identificadas no pavimento asfáltico da BR-010, no trecho entre os municípios de Dom Eliseu-PA e Itinga do Pará-PA, foi realizada com base na correlação entre o tipo de patologia observada, seu nível de gravidade e a técnica de recuperação mais adequada para resolução de cada situação. Para isso, foram levados em consideração critérios de engenharia relacionados à extensão, severidade e possível causa dos defeitos encontrados, selecionando as melhores intervenções para restabelecer as condições estruturais e funcionais do pavimento.

Inicialmente, as patologias identificadas em campo, tais como trincas, panelas (buracos), afundamentos, desgaste superficial e remendos deteriorados, foram classificadas quanto ao tipo e à gravidade. A partir dessa classificação, foram definidas as soluções técnicas mais compatíveis com cada manifestação patológica. O critério para escolha das intervenções foi fundamentado nas recomendações contidas no Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT, 2006), que determina as diretrizes para avaliação dos defeitos e definição das técnicas de recuperação mais adequadas para cada situação. Além disso, foram utilizados os fundamentos teóricos apresentados por Balbo, Bernucci *et al.* e Pinto, autores reconhecidos na área de engenharia de pavimentos, que relacionam o comportamento dos defeitos às estratégias de manutenção e restauração.

4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

4.1 Infraestrutura Rodoviária E Dependência Do Modal Rodoviário Na Amazônia Oriental

A infraestrutura rodoviária desempenha um papel essencial na organização territorial, econômica e social do Brasil, especialmente em regiões onde há limitação de outros modais de transporte, como na Amazônia Oriental. Segundo o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, o predomínio do transporte rodoviário nessas áreas gera uma forte dependência das estradas, que passam a exercer funções que vão além da mobilidade. Nesse sentido, as rodovias tornam-se fundamentais para garantir o acesso da população a serviços básicos, como saúde, educação e comércio, além de possibilitar o escoamento da produção local (Neto; Nogueira, 2023).

Dentro deste cenário, a qualidade das estradas afeta de maneira significativa o progresso das regiões e a competitividade econômica. Estradas em boas condições ajudam a baixar os custos com logística, melhoram a eficácia do transporte e facilitam a movimentação de bens e pessoas de maneira mais segura e rápida. Ademais, uma rede de estradas bem mantida fortalece a conexão entre cidades e áreas produtivas, incentivando o crescimento econômico e atraindo investimentos. Em contrapartida, a má conservação das vias prejudica essa dinâmica, tornando o transporte mais difícil, encarecendo produtos e restringindo o acesso a chances, o que aumenta as desigualdades regionais (Oliveira Neto, 2024).

Por fim, destaca-se que o investimento em planejamento, técnicas adequadas de construção e manutenção periódica das rodovias é fundamental para garantir maior durabilidade da infraestrutura e melhores condições de tráfego. A adoção de estratégias de gestão eficiente permite identificar problemas com antecedência, reduzir custos a longo prazo e aumentar a vida útil do pavimento. Nesse sentido, a infraestrutura rodoviária deve ser vista como um elemento estratégico para o desenvolvimento sustentável da região (Gama, 2024).

4.2 Caracterização Da Br-010 E Intensificação Das Solicitações Mecânicas

4.2.1 Dinâmica de Tráfego e Função Logística

A rodovia BR-010, no trecho entre Dom Eliseu (PA) e Itinga do Pará (PA), consolida-se como um dos eixos logísticos mais estratégicos da Região Norte, servindo de escoadouro para fluxos intensos de produtos agropecuários, florestais e industriais. Contudo, a expansão acelerada dessas cadeias produtivas tem gerado uma pressão crescente sobre a infraestrutura existente, manifestada pelo aumento exponencial do volume de veículos pesados. Sob a ótica da engenharia de pavimentos, a aplicação contínua de solicitações de alta magnitude, agravada pelo tráfego com excesso de peso, submete a estrutura a processos severos de fadiga, reduzindo drasticamente a vida útil do pavimento (CNT, 2023).

Esse quadro de degradação física impacta diretamente o 'Custo Brasil'. Pesquisas recentes da CNT (2025) mostram que investimentos adequados em estradas podem aumentar o PIB do setor de transporte em até 4,7 vezes, demonstrando que a má condição das vias funciona como um fardo para a economia regional. Além disso, Sousa e Magalhães (2023) ressaltam que a falta de qualidade na infraestrutura rodoviária não só eleva os gastos operacionais, mas também restringe a atualização da frota e a eficiência geral do país. Dessa forma, a deterioração da BR-010 deixa de ser apenas uma questão técnica e se transforma em um obstáculo para o crescimento.

4.2.2 Efeitos da Repetição de Cargas e Fadiga Estrutural

A repetição de cargas constitui um dos principais fatores responsáveis pela deterioração dos pavimentos rodoviários, sendo diretamente associada ao fenômeno da fadiga estrutural. De acordo com o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT, 2003), esse processo ocorre quando o pavimento é submetido a ciclos sucessivos de tensão, levando ao surgimento de microfissuras que evoluem progressivamente até se tornarem trincas visíveis. De acordo com Balbo (2007), com o avanço dessas patologias, há comprometimento da integridade estrutural, redução da capacidade de suporte e maior suscetibilidade ao aparecimento de defeitos mais severos, como panelas e deformações permanentes, especialmente em rodovias com elevado volume de tráfego pesado.

Sob uma perspectiva econômica, a degradação acelerada dos pavimentos não se limita a um problema técnico, mas representa também um fator relevante de perdas financeiras. O atraso na realização de manutenções adequadas intensifica o nível de deterioração e eleva significativamente os custos de recuperação das vias (Bernucci, 2008). Além disso, o aumento da resistência ao rolamento e das irregularidades superficiais impacta diretamente o consumo

de combustível, o desgaste dos veículos e o tempo de deslocamento. As condições inadequadas das rodovias brasileiras geram impactos expressivos na eficiência logística e no custo do transporte (Medina; Motta, 2015).

4.3 Estrutura dos Pavimentos e Resposta Mecânica às Solicitações

4.3.1 Sistema Multicamadas e Distribuição de Tensões

Os pavimentos flexíveis são concebidos como sistemas estruturais multicamadas, compostos por materiais com diferentes propriedades mecânicas e módulos de elasticidade, cuja função principal é promover a dissipação progressiva das tensões verticais oriundas do tráfego (Medina; Motta, 2015). Nesse contexto, o objetivo técnico é assegurar que as tensões transmitidas ao subleito permaneçam abaixo de sua capacidade de suporte, evitando deformações excessivas e falhas estruturais. Segundo o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT, 2006), o desempenho adequado dessas estruturas depende diretamente da correta interação entre as camadas e das condições de suporte do solo, sendo fundamental o controle de fatores externos que possam comprometer essa estabilidade.

Do ponto de vista físico, a presença de água nas camadas granulares representa um dos principais agentes de degradação estrutural. A infiltração hídrica eleva a pressão neutra nos vazios do material, reduzindo a tensão efetiva entre as partículas e, conseqüentemente, diminuindo sua resistência mecânica e seu módulo de resiliência. Esse processo compromete a rigidez da estrutura e favorece a evolução de patologias como trincas por fadiga e deformações permanentes. De acordo com estudos técnicos nacionais, a saturação das camadas do pavimento reduz significativamente sua capacidade de suporte, acelerando o processo de deterioração e reduzindo a vida útil da via (Balbo, 2007).

Esse cenário é ainda mais crítico na Amazônia Oriental, onde predominam solos lateríticos e elevados índices pluviométricos ao longo do ano. A combinação entre características geotécnicas sensíveis e condições climáticas adversas impõe um regime constante de tensões hidromecânicas ao pavimento (Neto; Nogueira, 2023). Conforme aponta o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, a precariedade de rodovias estratégicas nessa região compromete não apenas a infraestrutura física, mas também o desenvolvimento socioeconômico, ao dificultar o acesso a serviços básicos e aumentar os custos logísticos (IPEA,

2024). Dessa forma, a vulnerabilidade das rodovias amazônicas evidencia a necessidade de soluções técnicas adaptadas às condições locais.

Assim, a preservação da integridade estrutural das rodovias deixa de ser apenas uma questão operacional e passa a assumir caráter estratégico para o desenvolvimento nacional. A perda de suporte das camadas, associada à ação da umidade, compromete o desempenho do pavimento e gera impactos diretos na economia regional, elevando custos de transporte e reduzindo a eficiência logística (Neto; Nogueira, 2023). Torna-se, portanto, indispensável a adoção de práticas de engenharia voltadas à durabilidade e à resiliência das estruturas, com ênfase em drenagem eficiente, materiais adequados e manutenção preventiva, de modo a garantir a funcionalidade das rodovias e sua contribuição para a competitividade econômica do país (DNIT, 2006; IPEA, 2024).

4.3.2 Comportamento Viscoelástico e Sensibilidade à Temperatura

O revestimento asfáltico apresenta comportamento viscoelástico, o que implica que sua resposta às cargas depende tanto da magnitude quanto do tempo de aplicação dessas cargas. Em temperaturas elevadas, o material torna-se mais suscetível à deformação, apresentando comportamento mais plástico e menos resistente (Lopes, 2023). Esse fenômeno contribui para a formação de trilhas de roda e para a redução da qualidade funcional do pavimento, especialmente em rodovias com tráfego intenso de veículos pesados. Além disso, o envelhecimento do ligante asfáltico resulta na perda de flexibilidade, aumentando a suscetibilidade à fissuração (Oliveira Neto, 2024).

No cenário brasileiro, essa vulnerabilidade é agravada pelo aumento das temperaturas extremas, que submetem a malha rodoviária a regimes de estresse térmico superiores aos previstos em projetos convencionais. De acordo com a Gonzalez (2013), a degradação precoce do pavimento asfáltico, impulsionada pela perda de rigidez térmica, gera custos adicionais que consomem parcelas significativas do orçamento de manutenção, impactando diretamente a competitividade da indústria nacional. Esse cenário de instabilidade mecânica é corroborado pelo IBGE (2024), que associa a precariedade da infraestrutura de transportes a uma redução na eficiência produtiva regional, uma vez que a deformação das vias eleva o tempo de percurso e o desperdício de insumos no escoamento de safras.

Adicionalmente, a CNT (2024) destaca que a presença de irregularidades e trilhas de roda, decorrentes do comportamento plástico do asfalto em períodos de calor intenso, aumenta

o custo operacional do transporte em até 32,7%. Assim, a deterioração das camadas asfálticas por fadiga e deformação permanente deixa de ser um evento técnico isolado para se tornar um gargalo econômico sistêmico. A manutenção da integridade viscoelástica das rodovias brasileiras é, portanto, indispensável para mitigar o 'Custo Brasil', exigindo investimentos em materiais mais resilientes que suportem a combinação de cargas pesadas e condições climáticas adversas (CNT, 2025).

4.4 Mecanismos Avançados De Degradação

4.4.1 Interação entre Fadiga, Umidade e Deformação Permanente

Fadiga estrutural e deformação permanente são mecanismos mecânicos relacionados à carregamento no pavimento (Lopes, 2023). Esses fenômenos atuam de forma sinérgica, criando um efeito cascata que potencializa a deterioração. A presença de fissuras no revestimento asfáltico rompe a estanqueidade da via, facilitando a infiltração de água para as camadas granulares. Uma vez infiltrada, a umidade reduz o módulo de resiliência da base e sub-base, comprometendo a capacidade de suporte do sistema e favorecendo a ocorrência de deformações permanentes mesmo sob solicitações de carga ordinárias (Bernucci, 2008).

Conforme apontam estudos recentes publicados pela ANPET (2024), essa interação é particularmente destrutiva em solos tropicais, onde a saturação hídrica acelera a expulsão de finos (bombeamento) e gera vazios estruturais que tornam o pavimento incapaz de distribuir tensões de forma homogênea. Esse processo cria um ciclo de degradação progressiva: a perda de suporte inferior aumenta a flexão no revestimento, o que gera novas trincas e, conseqüentemente, permite maior entrada de água. Sob a ótica econômica, o IPEA (2024) destaca que o custo de recuperação de rodovias que atingem esse estágio de falha sinérgica é até quatro vezes maior do que o de manutenções preventivas, onerando severamente o orçamento público e a produtividade regional.

Além do dano físico, a perda de serventia decorrente desses mecanismos gera impactos diretos na eficiência logística nacional. De acordo com a ABLP (2025), a evolução acelerada para estados avançados de deterioração como panelas e trilhas de roda profunda atua como um 'gargalo estrutural' que desestimula a renovação de frotas e eleva o desperdício de insumos no escoamento de safras pelo Arco Norte. Portanto, a gestão da BR-010 exige uma abordagem que considere a vulnerabilidade climática como variável crítica, sob pena de inviabilizar a

competitividade das commodities brasileiras frente ao mercado internacional (IPEA, 2024; ANPET, 2024).

4.4.2 Perda de Aderência e Desagregação Superficial

A infiltração de água pode provocar a perda de aderência entre o ligante asfáltico e os agregados, resultando na desagregação superficial do pavimento. Esse fenômeno, conhecido tecnicamente como *stripping*, ocorre quando a umidade penetra na interface ligante-agregado, rompendo as ligações químicas e promovendo o desprendimento de partículas (Andrade *et al.*, 2022). Como consequência imediata, há uma redução drástica na rugosidade da pista, o que compromete a segurança dos usuários ao elevar o risco de aquaplanagem e aumentar a distância de frenagem. Além disso, a ação combinada de tráfego pesado e intempéries contribui para a perda contínua de material superficial, evoluindo para o surgimento de panelas e expondo as camadas granulares à degradação acelerada (Silva; Pinheiro, 2024).

Sob a ótica da segurança e infraestrutura, se ressalta que a perda de atrito causada pela desintegração superficial é um dos principais fatores contribuintes para o aumento da severidade de acidentes em rodovias de pista simples, especialmente em regiões de alta pluviosidade (Ribeiro, 2017). Esse cenário de risco é corroborado, que associa a negligência na manutenção preventiva de revestimentos asfálticos a uma queda acentuada no Índice de Condição de Manutenção (ICM), resultando em vias que não atendem aos requisitos mínimos de aderência exigidos pelas normas de segurança viária nacionais (Andrade *et al.*, 2022).

Do ponto de vista socioeconômico, o impacto dessa deterioração transcende o risco à vida. De desagregação superficial obriga os condutores a operarem em velocidades reduzidas e aumenta o desgaste de componentes mecânicos e pneus, elevando o custo variável do transporte (Soares, 2008). Assim, a falta de integridade do revestimento atua como um entrave à fluidez logística, uma vez que a degradação superficial não tratada evolui rapidamente para falhas estruturais profundas, exigindo intervenções de reconstrução que são significativamente mais onerosas que os tratamentos de rejuvenescimento ou microrrevestimentos precoces (Vieira, 2011).

4.5. Classificação Dos Pavimentos Segundo O Comportamento Estrutural

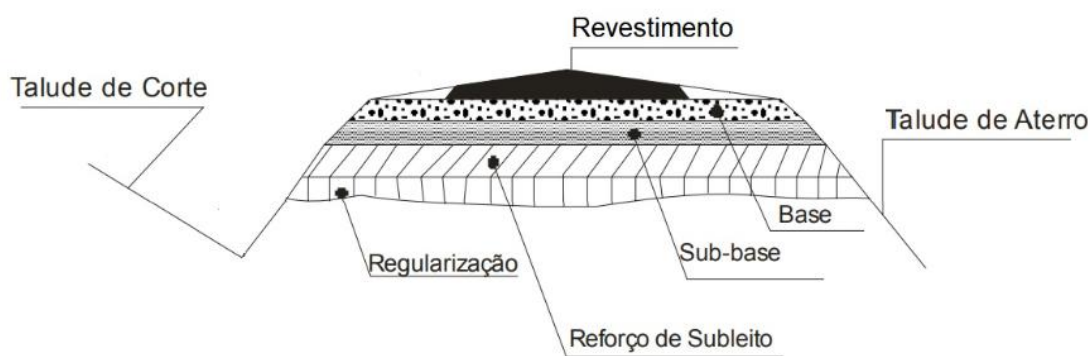
A pavimentação rodoviária pode ser definida como uma estrutura composta por múltiplas camadas de espessuras finitas, construída sobre o subleito com o objetivo de resistir às solicitações provenientes do tráfego e às ações dos agentes climáticos, sendo sua classificação baseada na rigidez relativa entre as camadas constituintes e o solo de fundação (Andrade *et al.*, 2022).

4.5.1 Pavimento flexível

Os pavimentos flexíveis apresentam comportamento predominantemente elástico, promovendo a distribuição progressiva das tensões ao longo da profundidade da estrutura, conforme ilustrado na Figura 2, que representa a disposição típica de suas camadas; do ponto de vista mecânico, a transmissão das cargas ocorre de forma intergranular.

Em outras palavras, em grão a grão, enquanto o revestimento asfáltico, caracterizado por baixa resistência à tração, depende diretamente da capacidade de suporte das camadas inferiores, como base, sub-base e subleito, sendo seu desempenho fortemente influenciado pelas condições de umidade e qualidade dos materiais, conforme estabelecido pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT, 2006). A seguir na Figura 2 é mostrada as camadas do pavimento flexível:

Figura 2 - Camadas do pavimento flexível



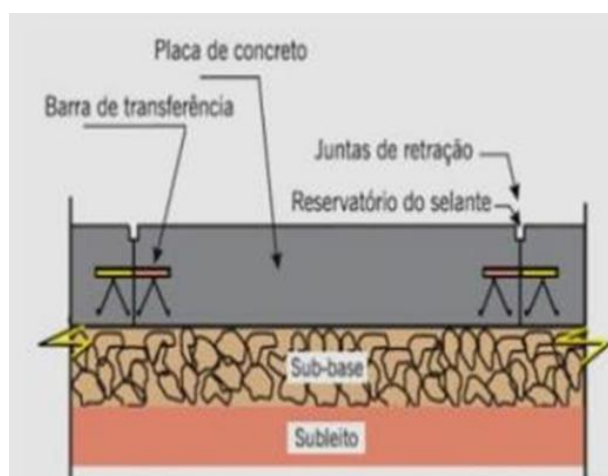
Fonte: Guia da Engenharia, (2019).

4.5.2 Pavimentos Rígidos

Os pavimentos rígidos apresentam elevada rigidez estrutural e alto módulo de elasticidade, o que lhes permite absorver e distribuir de forma mais eficiente as tensões provenientes do tráfego, funcionando como uma placa capaz de reduzir significativamente as cargas transmitidas ao subleito e, conseqüentemente, aumentar a estabilidade da estrutura. Esse comportamento torna esse tipo de pavimento especialmente adequado para rodovias com alto volume de tráfego pesado, uma vez que sua menor deformabilidade reduz a ocorrência de defeitos como trilhas de roda e recalques (Silva; Pinheiro, 2024).

A estrutura desse sistema é composta, de forma geral, por uma placa de concreto apoiada sobre uma base ou sub-base, que tem a função de garantir suporte uniforme e melhorar as condições de apoio do conjunto, conforme ilustrado na Figura 3, que apresenta as camadas típicas do pavimento rígido:

Figura 3 - Camadas do Pavimento Rígido



Fonte: Bernucci, *et al.* (2008).

Além disso, o desempenho dos pavimentos rígidos está diretamente relacionado à qualidade dos materiais utilizados, às condições de execução e à eficiência do sistema de drenagem, uma vez que a presença de água pode comprometer o suporte da base e do subleito (Bernucci *et al.*, 2017). A adoção de técnicas adequadas de dimensionamento e construção, aliada a inspeções periódicas e manutenção preventiva, contribui para aumentar a durabilidade da estrutura e reduzir custos ao longo do ciclo de vida da rodovia (Ribeiro, 2017). Dessa forma, apesar do maior custo inicial de implantação, os pavimentos rígidos podem apresentar

vantagens econômicas a longo prazo, especialmente em vias de alto tráfego, devido à sua maior vida útil e menor necessidade de intervenções frequentes (Soares, 2008).

4.5.3 Pavimentos Semirrígidos (ou Semicompósitos)

Os pavimentos semirrígidos representam uma solução estrutural híbrida, projetada para suportar elevados volumes de tráfego com custo inferior ao dos pavimentos rígidos convencionais, combinando características de sistemas flexíveis e rígidos; do ponto de vista mecânico, apresentam uma base tratada quimicamente, geralmente com cimento ou cal, que proporciona maior resistência à tração em comparação aos materiais granulares, enquanto mantêm um revestimento asfáltico flexível na camada superior; quanto à sua constituição, são formados por materiais como solo-cimento, brita graduada com cimento (BGC) ou macadame cimentado, recobertos por uma camada asfáltica, o que confere maior capacidade estrutural ao sistema (Andrade *et al.*, 2022).

4.5.4 Pavimentos Intertravados

Embora sejam feitos de blocos de concreto, conhecidos como pavers, os pavimentos interligados têm um comportamento mecânico que se classifica como flexível, já que a carga é distribuída através do entrelaçamento das peças; nesse arranjo, a transferência de forças acontece principalmente pelo atrito lateral entre os blocos, permitindo à estrutura lidar com pequenos assentamentos do subsolo sem que haja rupturas, assegurando boa adaptabilidade e desempenho estrutural mesmo em situações de deformações moderadas (Vieira, 2011).

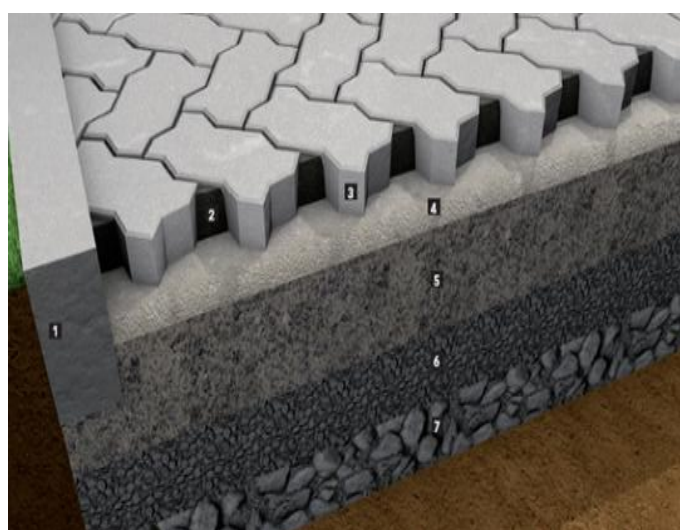
Entre os casos examinados, destacam-se o trincamento causado pelo calor, evidenciado por fissuras transversais, e a marca de roda, medida pela profundidade da deformação em milímetros, ambos intimamente ligados ao comportamento estrutural do pavimento sob as pressões mecânicas e condições ambientais (Soares, 2008). Esse tipo de abordagem ajuda na compreensão dos processos de desgaste e auxilia na decisão referente às intervenções mais apropriadas. A Tabela 1 exibe uma comparação sobre a distribuição de tensões nos pavimentos, vinculando as principais falhas aos seus indicadores técnicos correspondentes:

Tabela 1 - Comparativo de Distribuição de Tensões

Tipo de Pavimento	Distribuição de Carga	Camada Principal de Esforço	Vida Útil Estimada
Flexível	Área Pequena (Puntiforme)	Base e Sub-base	10 a 15 anos
Rígido	Área Ampla (Placa)	Revestimento (Concreto)	20 a 30 anos
Semirrígido	Intermediária	Base Cimentada	15 a 20 anos

Fonte: Elaborada pela autora (2025).

Figura 4 - Pavimentos Intertravados



Fonte: Bernucci, *et al.* (2008).

4.6 Classificação Detalhada das Falhas e Manifestações Patológicas

O desgaste de uma superfície rodoviária não deve ser visto como um incidente único, mas como um processo contínuo e sistêmico de redução da utilidade e da integridade estrutural ao longo do tempo. Isso se deve à interação entre cargas repetidas, variáveis ambientais e propriedades dos materiais (Araújo, 2016). Dentro desse cenário, a separação entre falhas estruturais, que estão ligadas à incapacidade de suportar as cargas, como fissuras por fadiga e afundamentos, e falhas funcionais, que se relacionam à perda de conforto e segurança, como irregularidades e aderência inadequada, é uma base essencial para a gestão eficaz da infraestrutura de transporte.

Portanto, a correta identificação e classificação das manifestações patológicas permitem a elaboração de estratégias de manutenção compatíveis com o grau de severidade e as causas

dos defeitos observados. Essa abordagem favorece uma gestão mais eficiente dos recursos financeiros e operacionais destinados à infraestrutura viária, possibilitando intervenções mais eficazes e economicamente viáveis. Consequentemente, promove-se a ampliação da vida útil do pavimento, a preservação de suas condições funcionais e estruturais e a redução dos custos decorrentes de reparos emergenciais, conforme evidenciado por estudos voltados à gestão de pavimentos e à conservação rodoviária (Balaguer, 2012).

4.6.1 Dinâmica de Progressão e Janela de Intervenção

A curva de degradação dos pavimentos indica que aproximadamente 40% da perda de qualidade ocorre ao longo dos primeiros 75% da vida útil, enquanto a deterioração restante se desenvolve de forma acelerada no período final, concentrando-se em uma fração reduzida do tempo, o que evidencia a importância de intervenções realizadas no momento adequado para evitar a perda rápida de desempenho estrutural e funcional (Silva; Pinheiro, 2024).

No entanto, a manutenção preventiva, de caráter proativo, é aplicada quando o pavimento ainda apresenta boas condições, utilizando técnicas como selagem de trincas e microrrevestimentos; por outro lado, a reabilitação estrutural torna-se necessária quando ensaios de deflexão, como a Viga Benkelman ou o Falling Weight Deflectometer (FWD), indicam valores superiores aos limites normativos, exigindo intervenções como fresagem, recapeamento (overlay) ou reconstrução, conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 - Diagnóstico e Ação

Patologia	Indicador Técnico	Causa Provável	Ação Recomendada
Trincamento Térmico	Fendas Transversais	Gradiente Térmico Agudo	Selagem de Trincas
Trilha de Roda	Profundidade (mm)	Fluência / Subleito Fraco	Fresagem e Recapeamento
Desagregação	Perda de Massa	Oxidação do Ligante	Lama Asfáltica / Microrrevestimento
Afundamentos	Deformação Local	Consolidação da Base	Reparo Profundo (Deep Patching)

Fonte: Elaborada pela autora (2026).

4.7 Avaliação Técnica e Diagnóstico do Pavimento

A utilização da metodologia como o Levantamento Visual Contínuo (LVC) permite a avaliação sistemática das condições do pavimento, fornecendo subsídios técnicos consistentes para a tomada de decisão quanto às estratégias de manutenção e reabilitação (Andrade *et al.*, 2022). Essas ferramentas possibilitam a identificação, classificação e quantificação das manifestações patológicas presentes, contribuindo para o diagnóstico do estado funcional e estrutural da via (Vieira, 2022).

Nesse contexto, a Tabela 3 apresenta a matriz de intervenção em pavimentos, na qual são correlacionados os níveis de deterioração observados com as ações corretivas mais adequadas, permitindo a definição de prioridades e a otimização dos recursos disponíveis no processo de gestão da infraestrutura rodoviária. Além disso, a aplicação desses métodos favorece o planejamento de intervenções mais precisas e eficientes, reduzindo custos a longo prazo e aumentando a vida útil do pavimento.

Tabela 3 - Matriz de Intervenção em Pavimentos

Faixa de IGG	Condição (DNIT 006/2003)	Deflexão (FWD/Viga)	Tipo de Intervenção	Exemplos de Soluções Técnicas
0 - 20	Excelente	Baixa (Dentro do limite)	Preservação	Selagem de trincas isoladas, limpeza de drenagem.
21 - 40	Bom	Baixa / Estável	Preventiva	Microrrevestimento asfáltico, Slurry Seal, Rejuvenescimento.
41 - 60	Regular	Moderada	Corretiva Leve	Fresagem descontínua + Lama Asfáltica ou Camada Delgada (CBUQ).
61 - 80	Ruim	Alta (Início de fadiga)	Reabilitação	Fresagem de capa + Recapeamento (Overlay) + Reforço de base.
> 80	Péssimo	Crítica (Estrutural)	Reconstrução	Reciclagem de base com cimento/espuma ou Reconstrução Total.

Fonte: Elaborada pela autora (2026).

4.8 Impactos Da Degradação Na Logística E Segurança

4.8.1 A Gestão de Ativos de Pavimentação e o Impacto no Desenvolvimento Nacional

A eficiência da infraestrutura rodoviária é um pilar determinante para o desenvolvimento regional e a competitividade econômica. No entanto, a preservação desse patrimônio enfrenta um desafio técnico crítico: a curva de degradação dos pavimentos. Estudos demonstram que um pavimento mantém cerca de 60% de sua qualidade durante os primeiros 75% de sua vida útil; após esse ponto, a deterioração acelera drasticamente, perdendo os 40% restantes em apenas 12% do tempo remanescente (Chagas, 2025).

Para uma gestão eficiente, é fundamental a aplicação de metodologias sistemáticas como o Levantamento Visual Contínuo (LVC) e o Índice de Gravidade Global (IGG), conforme preconizado pelo DNIT (2003). Esses indicadores permitem identificar a "janela de oportunidade" para intervenções preventivas (como selagem de trincas e microrrevestimento), que apresentam um custo significativamente inferior às intervenções reativas. Quando essa janela é perdida e o diagnóstico via Defletometria aponta fadiga estrutural, o gestor é forçado a realizar reabilitações complexas ou reconstruções totais, elevando o custo em até dez vezes (Chagas, 2025).

A negligência na manutenção proativa não gera apenas custos de engenharia, mas um impacto direto no Custo Brasil. De acordo com dados da CNT (2021) e do IPEA (2022), a deterioração do pavimento eleva o custo operacional dos veículos em média 32,2%, além de aumentar o consumo de combustível e os riscos de acidentes fatais. Em última análise, a precariedade das vias compromete a eficiência do transporte de carga, encarece produtos e isola regiões produtoras, evidenciando que o investimento em conservação é, antes de tudo, uma estratégia de desenvolvimento social e econômico (Andrade *et al.*, 2022).

4.9 Integração dos Fatores de Degradação

A eficácia de um pavimento não está apenas atrelada à qualidade dos materiais utilizados em sua construção, mas também à integração entre o sistema estrutural e as demandas externas a que é submetido. Para se obter um diagnóstico preciso e uma gestão efetiva de ativos, a análise deve deixar de lado uma visão isolada e adotar uma visão abrangente, apoiada em três pilares

que incluem fatores estruturais, ambientais e operacionais, segundo as orientações técnicas aplicáveis à gestão de pavimentos no Brasil (Chagas, 2025).

Por outro lado, o fator operacional tem um impacto considerável na diminuição da vida útil do pavimento, especialmente em estradas com alto tráfego e cargas frequentemente acima dos limites projetados. Essa situação resulta em solicitações que superam a capacidade estrutural prevista, acelerando os processos de deterioração e promovendo a transição de imperfeições superficiais para falhas estruturais mais severas. A Confederação Nacional do Transporte afirma que o excesso de carga por eixo e as condições inadequadas das estradas são fatores decisivos que exacerbam as patologias nos pavimentos brasileiros (Ribeiro, 2017).

Dessa maneira, a análise conjunta dos aspectos estruturais, ambientais e operacionais se torna imprescindível para prever falhas e guiar intervenções que sejam mais eficazes, econômicas e duradouras ao longo do ciclo de vida do pavimento. A implementação dessa abordagem integrada facilita a otimização dos recursos públicos, a melhoria das condições de tráfego e a extensão da durabilidade da infraestrutura rodoviária, ressaltando a relevância de práticas de gestão fundamentadas em critérios técnicos estabelecidos no cenário nacional (IPEA, 2021).

4.10 Durabilidade de Pavimento

A durabilidade de um pavimento não deve ser entendida como um valor fixo definido na fase de projeto, mas como o resultado dinâmico da interação entre a resistência estrutural, a resiliência frente às condições ambientais e o rigor das condições operacionais ao longo do tempo. Nesse contexto, o desempenho da via é continuamente ajustado pela resposta dos materiais às cargas repetidas, às variações térmicas e à presença de umidade, fatores que influenciam diretamente a evolução de patologias como trincas, deformações permanentes e perda de capacidade de suporte (Chagas, 2025). Segundo o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT, 2006), a análise integrada desses fatores é essencial para compreender o comportamento do pavimento e antecipar mecanismos de deterioração.

Nesse sentido, a transição de uma abordagem de manutenção reativa para uma estratégia de gestão de pavimentos baseada em dados e monitoramento contínuo torna-se indispensável para garantir eficiência técnica e econômica (Soares, 2008). A utilização de indicadores de desempenho, aliada a ferramentas de inspeção e diagnóstico, permite priorizar intervenções no momento adequado, evitando a evolução de defeitos simples para falhas estruturais mais graves.

Além disso, práticas como o controle de cargas por eixo, a melhoria dos sistemas de drenagem e a seleção criteriosa de materiais contribuem significativamente para a redução dos custos ao longo do ciclo de vida da rodovia (Vieira, 2011).

Por fim, compreender a durabilidade do pavimento como um fenômeno sistêmico permite não apenas prolongar sua vida útil, mas também assegurar melhores condições de trafegabilidade, segurança e eficiência logística. A integração entre projeto, execução, monitoramento e manutenção deve ser tratada como um ciclo contínuo, no qual cada etapa influencia diretamente o desempenho futuro da estrutura, reforçando a importância de uma gestão estratégica e preventiva para a preservação do patrimônio público e o desenvolvimento sustentável do setor de transportes (Bernucci *et al.*, 2017).

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Proposição de Diretrizes Técnicas para Recuperação do Trecho

Com base nas inspeções de campo e seguindo as diretrizes do Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos do DNIT, foi estruturado um plano de intervenção para os pontos críticos analisados na tabela 4:

Tabela 4 - Matriz de Diagnóstico e Proposta de Intervenção Técnica para a BR-010

Localização aproximada (KM / Coordenadas / Referência)	Manifestação patológica	Nível de Severidade (Baixo/Médio/Alto)	Causa Provável da Manifestação Patológica	Solução de Engenharia Proposta (Baseada nos Manuais do DNIT)
				
Ex: Km 15 + 200m (Próximo à saída de Dom Eliseu)	Trincamento em Couro de Jacaré (FC-3)	Alto	Fadiga do revestimento asfáltico decorrente da repetição de cargas pesadas associada à deficiência de suporte das camadas inferiores.	Fresagem técnica do revestimento degradado, reconstituição localizada da base (se necessário) e aplicação de nova camada de CBUQ (Concreto Betuminoso Usinado a Quente).
Ex: Km 28	Panelas / Buracos	Alto	Evolução de trincas não tratadas	Execução de Remendo Profundo : corte

			associada à infiltração de água pluvial e ação dinâmica dos pneumáticos de veículos comerciais.	retangular da área afetada (fresagem), remoção do material contaminado, recomposição da base com brita graduada e recomposição do revestimento asfáltico.
Ex: Km 42 (Trecho em declive)	Exsudação	Médio	Excesso de ligante asfáltico na mistura (CBUQ) ou migração do ligante para a superfície devido a altas temperaturas e tráfego pesado.	Aplicação de microrrevestimento asfáltico a frio com agregados ou hidrojetamento de alta pressão para restabelecer a macrotextura e a aderência pneu-pavimento.
Ex: Km 55	Afundamento Plástico Localizado	Alto	Fluência (deformação permanente) da mistura asfáltica sob tráfego canalizado de carga ou subdimensionamento da estrutura do pavimento.	Fresagem do pavimento para regularização da seção transversal e recapeamento com mistura asfáltica modificada por polímero (para maior resistência à deformação).

Fonte: Autor (2026).

5.2 Condições Gerais da Rodovia

A rodovia que liga Dom Eliseu a Itinga do Pará apresenta um avançado estado de degradação, impactando diretamente o cotidiano da população que depende dessa via para deslocamentos relacionados ao trabalho, estudo e acesso a serviços essenciais. A elevada demanda de uso, muitas vezes superior à capacidade de projeto da estrada, contribui para o desgaste progressivo do pavimento. Soma-se a esse cenário o intenso tráfego de caminhões com cargas pesadas e a circulação frequente de maquinário agrícola, fatores que ampliam significativamente as tensões estruturais e aceleram o processo de deterioração da via.

5.3 Ocorrência De Painéis, Trincas E Irregularidades Superficiais

No trecho correspondente ao km 20, observa-se de forma mais crítica a ocorrência de patologias no pavimento, destacando-se a presença de painéis, trincas e irregularidades superficiais. Tais manifestações comprometem as condições de trafegabilidade, reduzem o conforto dos usuários, aumentam o risco de acidentes e geram prejuízos operacionais aos veículos na figura 5. Esses danos estão associados, principalmente, à infiltração de água da chuva, ao tráfego intenso de veículos pesados e à deficiência de manutenção preventiva, evidenciando a necessidade de intervenções técnicas mais eficazes e contínuas.

Figura 5 – Manifestação de patologias no pavimento, com ocorrência de painéis e trincas.



Fonte: A autora (2026).

De acordo com a norma Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes DNIT 005/2003-TER, as painéis e trincas são classificadas como defeitos característicos de pavimentos flexíveis, indicando perda da integridade estrutural e funcional da via. Além disso, conforme os critérios da DNIT 006/2003-PRO, a elevada incidência dessas patologias contribui para o aumento do Índice de Gravidade Global (IGG), podendo enquadrar o trecho em condições de conservação classificadas como “ruim” ou “péssima”, o que reforça a necessidade

de recuperação estrutural e manutenção periódica para restabelecer condições adequadas de segurança e trafegabilidade.

Além disso, o aumento da população e a intensificação das atividades econômicas nas áreas de Dom Eliseu e Itinga do Pará resultaram em um crescimento notável no volume de veículos nas estradas que conectam essas regiões, o que está levando a uma sobrecarga e deterioração do pavimento. A inclusão desta área em um eixo logístico importante do sudeste do Pará, com ênfase na BR-010 (Rodovia Belém-Brasília), agrava ainda mais a situação, devido à constante movimentação de produtos agrícolas, de madeira e outras mercadorias (CNT, 2023).

Nesse cenário, o tráfego constante de caminhões pesados gera grandes tensões na estrutura do pavimento, favorecendo o aparecimento de problemas como deformações permanentes, marcas de pneus e fissuras. O excesso de peso é um dos principais fatores que causam a deterioração rápida das estradas brasileiras, especialmente quando combinado com a falta de manutenção (Andrade *et al.*, 2022). Assim, os danos tendem a se agravar com o tempo, começando por deformações na superfície e avançando para fissuras, buracos e infiltração de água, comprometendo as camadas estruturais da estrada.

5.4 Exsudação Asfáltica e Perda de Aderência

No km 19, ainda no município de Dom Eliseu, é possível observar um desgaste superficial no pavimento relacionado à exsudação asfáltica, conforme mostra a Figura 6. Esse problema pode ser percebido pela aparência mais escura e brilhante da pista, causada pelo excesso de material betuminoso que aflora para a superfície do revestimento. Como resultado, a pista torna-se mais lisa, reduzindo a aderência entre os pneus e o pavimento, principalmente em períodos chuvosos, o que contribui para o aumento do risco de acidentes.

De acordo com a Chagas (2025), a exsudação afeta de maneira significativa a distância necessária para a frenagem e eleva o risco de acidentes. Dentre essas falhas, a exsudação se destaca, que é marcada pela movimentação do ligante asfáltico em direção à superfície, ocasionando uma diminuição da macrotextura e da aderência entre o pneu e o pavimento, como ilustrado na Figura 6.

Figura 6 - Exsudação



Fonte: A autora (2026).

A exsudação é caracterizada pelo excesso de ligante asfáltico na superfície do pavimento, sendo considerada uma patologia que compromete as condições funcionais da rodovia, especialmente quanto à segurança e à resistência à derrapagem. Esse tipo de defeito geralmente está associado ao excesso de ligante na mistura asfáltica, às altas temperaturas e à ação repetitiva do tráfego pesado. Dessa forma, a ocorrência observada no trecho evidencia a necessidade de medidas corretivas e de manutenção periódica para garantir melhores condições de trafegabilidade e segurança aos usuários da via. Observa-se a figura 7:

Figura 7 – Desgaste superficial (Exsudação asfáltica).



Fonte: A autora (2026).

Além disso, também se nota a perda de material da camada de rolamento devido ao atrito constante dos pneus, o que deixa a superfície irregular e prejudica o conforto ao dirigir. Esses problemas indicam falhas na execução ou manutenção do pavimento, mostrando a necessidade de intervenções para melhorar as condições de segurança e uso da via.

5.5 Trincas por Fadiga Tipo “Couro de Jacaré”

A presença de trincas tipo couro de jacaré na figura 7, indica fadiga do revestimento por ação repetida de cargas pesadas. Esse fenômeno converge com o que afirmam Bernucci *et al.* (2011), ao associarem esse dano à subdimensão da estrutura ou perda de suporte da base. Além disso, a infiltração da água nesse ponto acelera a evolução para panelas, conforme alertado pelo Manual do DNIT (2006).

As falhas estruturais ocorrem quando o pavimento perde a capacidade de distribuir adequadamente as cargas do tráfego sem sofrer danos permanentes, comprometendo seu desempenho; entre elas, destaca-se o trincamento por fadiga do tipo “couro de jacaré”, originado pela repetição de tensões de tração na fibra inferior do revestimento asfáltico, cuja evolução indica o esgotamento da vida útil estrutural; segundo a ANPET (2024), o uso de ligantes modificados por polímeros tem sido uma estratégia eficaz para retardar esse processo em vias de alta solicitação, conforme ilustrado na Figura 8.

Figura 8 - Trinca interligada tipo couro de jacaré.



Fonte: A autora (2026).

No quilômetro 15, ainda dentro da área de Dom Eliseu, é possível notar um estado avançado de degradação do pavimento, manifestado pelo aparecimento de fissuras por fadiga do tipo “couro de jacaré”, conforme apresentado na Figura 7. Esse tipo de manifestação patológica ocorre devido à aplicação repetitiva de cargas pesadas ao longo do tempo, principalmente em rodovias com elevado fluxo de veículos de carga. A presença dessas trincas interligadas evidencia que o pavimento atingiu um nível crítico de desgaste, comprometendo significativamente sua capacidade estrutural e funcional.

5.6 Deficiência no Sistema de Drenagem

Um pavimento que esteja corretamente dimensionado deve ser capaz de distribuir as pressões verticais e suportar deformações laterais sem sofrer fadiga prematuramente. No entanto, essa estrutura é afetada diretamente pelas condições ambientais, pois mudanças de temperatura podem criar fissuras, enquanto a umidade no subleito prejudica a resistência dos materiais. A falta de um sistema de drenagem eficaz acelera a degradação, levando a recalques diferenciais e perda de suporte (Castro, 2011).

As aberturas formadas pelas fissuras facilitam a infiltração de água para as camadas inferiores do pavimento, acelerando o processo de deterioração da estrutura e favorecendo o surgimento de outros defeitos, como deformações e panelas. As trincas por fadiga do tipo couro de jacaré são classificadas como defeitos estruturais graves, geralmente associados ao enfraquecimento das camadas do pavimento ou à insuficiência estrutural para suportar o volume e o peso do tráfego atuante. Dessa forma, a condição observada no trecho demonstra a necessidade de intervenções corretivas mais profundas, como reforço estrutural ou restauração do revestimento, visando restabelecer a segurança, a durabilidade e as condições adequadas de trafegabilidade da via (Bernucci *et al.*, 2011).

Adicionalmente, observa-se a presença de água suja acumulada na superfície, o que indica deficiência no sistema de drenagem da rodovia e confirma o processo de infiltração apresentado também na Figura 9. A permanência dessa água sobre o pavimento demonstra que a estrutura não está conseguindo realizar o escoamento adequado, favorecendo a penetração da umidade através das fissuras e demais aberturas existentes no revestimento (Chagas, 2025).

Figura 9 - Evolução de patologias, resultada em panela.



Fonte: A autora (2026).

Quando a água infiltra nas camadas inferiores do pavimento, ocorre o amolecimento da base e do subleito, reduzindo a resistência e a capacidade de suporte desses materiais. Esse processo favorece a erosão interna da estrutura, acelerando o avanço das patologias já existentes e contribuindo para o surgimento de deformações mais severas, como afundamentos, recalques e ruptura do revestimento asfáltico (Andrade *et al.*, 2022).

5.7 Erosão nas Bordas e Perda de Suporte Lateral

De acordo com Bernucci *et al* (2008), a drenagem é um dos fatores fundamentais para a durabilidade dos pavimentos, uma vez que a presença excessiva de água compromete diretamente o desempenho estrutural da via. Dessa forma, a situação observada evidencia a necessidade de recuperação do sistema de drenagem associado à restauração do pavimento, buscando reduzir os processos de infiltração e aumentar a vida útil da rodovia. Na figura 10 destaca-se a deficiência na drenagem, o que provoca degradação do pavimento:

Figura 10 - Deficiência na drenagem, causando degradação do pavimento.



Fonte: A autora (2026).

Para Balso (2007), esta situação afeta diretamente a segurança e o funcionamento da rodovia, especialmente em se tratando de um trecho próximo à faixa lateral, onde os riscos são ainda mais acentuados. A presença de desníveis marcantes e material solto aumenta a chance de danos aos veículos, como furos nos pneus, além de elevar a possibilidade de perda de controle, principalmente em altas velocidades ou em condições de pista molhada. Assim, a situação observada ressalta a urgência de intervenções estruturais adequadas, que vão além de consertos superficiais, visando a recuperação efetiva das camadas do pavimento e do sistema de drenagem, assegurando maior durabilidade e segurança para os usuários.

Durante a análise da seção, especificamente no quilômetro 14, encontramos novamente o mesmo desafio de infiltração antecipada. Devido à ausência de drenagem adequada, a água acumulada infiltra-se nas fissuras do pavimento, o que acelera a formação de novos buracos, como evidenciado na figura 11, que é seguida por fissuras.

Figura 11 - Surgimento precoce das manifestações patológicas por falta de drenagem apta.



Fonte: A autora (2026).

Na imagem acima, a manifestação patológica se manifesta como uma erosão intensa nas bordas, gerada pela falta de apoio lateral e agravada por um sistema de drenagem superficial pouco eficaz. Na ausência de métodos adequados para o escoamento das águas da chuva, ocorre a remoção gradual dos materiais mais finos, revelando a base, o que dá início a um ciclo de deterioração que afeta a solidez do pavimento. De maneira geral, essa deficiência reflete um 'abandono silencioso' da via: o que se inicia como uma deterioração nas extremidades leva à diminuição da largura útil da faixa de rodagem e à formação de desníveis perigosos (degraus), convertendo uma falha de engenharia em um risco real para a segurança e a vida dos usuários, que ficam sem opções de manobra e sem garantia de um tráfego seguro (Danieleski, 2004).

5.8 Remendos E Desníveis No Tabuleiro Da Ponte

Dando sequência à avaliação do caso, em relação aos remendos no revestimento do tabuleiro da ponte, situado no km 10, nota-se que o piso da ponte apresenta sinais claros de desgaste, com vários reparos ao longo da pista, como demonstrado na Figura 12. Esses reparos sugerem que intervenções já foram feitas na área, mas de maneira isolada, sem solucionar

completamente a questão. Refere-se à ponte que atravessa o Rio Água Azul, em Dom Eliseu, onde o desgaste tende a acontecer de forma mais acelerada em virtude do tráfego contínuo de veículos e das condições ambientais da área.

Figura 12 - Remendos no revestimento do tabuleiro da ponte, com presença de desníveis superficiais.



Fonte: A autora (2026).

Adicionalmente, Balaguer (2012) pontua que os reparos resultam em uma superfície desigual, com irregularidades que comprometem o conforto da condução e elevam os riscos para os motoristas. Por se tratar do piso de uma ponte, esse tipo de situação requer ainda mais cuidado, pois pode facilitar a entrada de água e agravar os prejuízos ao longo do tempo. Assim, a condição observada na Figura 11 ressalta a urgência de uma manutenção mais eficaz, que ultrapasse os reparos superficiais e assegure melhores condições de segurança e longevidade para a estrada.

5.9 Fissura Longitudinal no Bordo do Pavimento

E por fim no km 8, último trecho analisado com patologias tem-se uma fissura longitudinal irregular no pavimento de asfalto, situada próxima à extremidade da pista, com um

formato sinuoso e variação de largura ao longo de seu comprimento. Esse padrão sugere uma interrupção no revestimento, possivelmente devido a movimentos diferentes entre a pista e o acostamento, além das tensões provocadas por mudanças de temperatura e a contração do asfalto. A sua posição na borda também implica uma maior exposição da estrutura, dado que essa área geralmente apresenta um confinamento lateral menor, como mostrado na figura 13.

Figura 13 - Fissura longitudinal



Fonte: A autora (2026).

Em acréscimo, Valente *et al* (2016) destaca que a existência dessa fissura pode estar relacionada a falhas executivas durante a construção do pavimento, como compactação inadequada das camadas, deficiência na imprimação ou falta de aderência entre o revestimento asfáltico e as camadas subjacentes. Esses fatores comprometem o comportamento estrutural da via, tornando o pavimento mais suscetível ao surgimento e à propagação de trincas ao longo do tempo.

Neto e Nogueira (2023) concordam que a continuidade da fissura ao longo da rodovia favorece sua expansão progressiva, permitindo a infiltração de água e de outros agentes externos para as camadas inferiores da estrutura. Esse processo acelera a deterioração do pavimento, intensificando o desgaste superficial e contribuindo para o aparecimento de outras patologias associadas. Segundo os critérios estabelecidos pelo DNIT 005/2003-TER, fissuras

contínuas representam um indicativo importante de comprometimento funcional e estrutural do revestimento, principalmente quando associadas à infiltração e ao tráfego pesado. Com o avanço dessas manifestações, ocorre a perda gradual da integridade da superfície, aumento das irregularidades e redução das condições de segurança e conforto, tornando necessárias intervenções corretivas mais amplas para recuperação da capacidade estrutural e funcional da rodovia.

5.10 Avaliação da Drenagem

As manifestações patológicas observadas no pavimento asfáltico da BR-010, no trecho entre Dom Eliseu-PA e Itinga do Pará-PA, podem estar diretamente associadas à combinação de dois fatores principais: a deficiência no sistema de drenagem e a ação contínua do tráfego pesado. Esses fatores acabam sendo determinantes para a deterioração precoce da estrutura do pavimento e para a redução de sua vida útil.

As panelas (buracos) e as trincas constituem patologias frequentemente relacionadas à infiltração de água por meio das camadas superficiais do pavimento. Em relação a drenagem, percebeu-se sendo insuficiente, a água fica sendo acumulada sobre a pista ou infiltra-se pelas fissuras existentes, provocando a perda de resistência das camadas subjacentes. Associada ao carregamento repetitivo de veículos pesados, essa condição beneficia diretamente ao desprendimento de material e o surgimento de panelas (Annes, 2024).

A exsudação asfáltica, caracterizada pelo excesso de ligante betuminoso na superfície do revestimento, tende a estar relacionadas às elevadas temperaturas da região e principalmente por causa do tráfego pesado. O carregamento constante dos veículos gera uma compactação excessiva das camadas superficiais, fazendo com que o ligante asfáltico migre para a superfície. Além disso, problemas de drenagem podem piorar esse fenômeno ao comprometer o desempenho estrutural da mistura asfáltica (Chagas, 2025).

A trinca interligada do tipo couro de jacaré é considerada um dos principais indicadores de fadiga estrutural do pavimento. Na maioria das vezes, seu surgimento tem relação direta com o tráfego repetitivo de veículos com elevadas cargas por eixo, especialmente caminhões que são utilizados no transporte de grãos, madeira, combustíveis e demais produtos que circulam pela rodovia. A presença de água nas camadas estruturais, decorrente de falhas na drenagem, acelera o processo de fadiga e favorece o aparecimento desse tipo de trincamento (Balbo, 2007).

A deficiência na drenagem é vista como uma das causas mais relevantes para a degradação dos pavimentos rodoviários. A ausência ou ineficiência de dispositivos de escoamento contribui diretamente para o acúmulo de água sobre a superfície e a infiltração nas camadas inferiores, minimizando a capacidade de suporte do subleito e acelerando o desenvolvimento de outras patologias, como trincas, afundamentos e panelas (Neto; Nogueira, 2023).

Para Balaguer (2012), os remendos observados no revestimento do tabuleiro da ponte, associados à presença de desníveis superficiais, podem ser sinais relevantes de necessidade de serem realizadas intervenções corretivas para reparar danos provocados pelo intenso tráfego de veículos pesados. Os desníveis encontrados podem surgir por causa da diferença entre materiais aplicados em momentos distintos, da execução inadequada dos reparos ou da continuidade das deformações estruturais causadas pelas cargas repetidas e pela ação da água infiltrada.

Por sua vez, a fissura longitudinal pode ter relação, tanto aos esforços gerados pelo tráfego quanto à infiltração de água. Esse tipo de defeito pode surgir por causa da retração da mistura asfáltica, falhas construtivas, movimentações diferenciais das camadas do pavimento ou perda de suporte da estrutura em razão da saturação provocada pela deficiência de drenagem. Todavia, quando recebem o tratamento adequado essas fissuras tornam-se importantes vias de entrada de água para o interior do pavimento, acelerando sua deterioração (Neto e Nogueira, 2023).

Dessa forma, observa-se que a maioria das patologias identificadas durante a investigação no campo, mostra relação direta com a deficiência do sistema de drenagem e com o intenso tráfego pesado característico da BR-010. A atuação conjunta desses fatores acaba contribuindo para os mecanismos de deterioração do pavimento, alertando para a urgência quanto a necessidade de ações de manutenção preventiva, recuperação estrutural e melhorias nos dispositivos de drenagem para garantir melhores condições de segurança, conforto e durabilidade da rodovia.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo geral do trabalho consistiu em avaliar as condições do pavimento da BR-010, no trecho entre Dom Eliseu – PA e Itinga do Pará – PA, buscando diagnosticar suas causas, avaliar os impactos quanto ao tráfego e segurança viária, bem como propor soluções técnicas adequadas para recuperação, manutenção e conservação do pavimento, contribuindo para a melhoria da infraestrutura rodoviária e para o aumento da vida útil da via. Desta feita, claramente este foi alcançado com êxito.

A análise concentra-se na compreensão da severidade das deteriorações e nos fatores responsáveis por sua evolução, visando subsidiar a escolha de estratégias de manutenção mais assertivas. A importância do trabalho relaciona-se à função da BR-010 na articulação regional e à necessidade de uma gestão de infraestrutura mais eficiente. Espera-se que, por meio de uma análise estruturada, o estudo contribua para a melhoria da segurança e da qualidade das viagens, otimize a logística de transporte e apoie o desenvolvimento das áreas atendidas.

Com base nas inspeções realizadas e nas patologias identificadas ao longo da BR-010, no trecho entre os municípios de Dom Eliseu-PA e Itinga do Pará-PA, pode-se identificar que a deterioração observada no pavimento resulta da atuação simultânea de fatores estruturais, ambientais e operacionais. Entre eles, é necessário sempre destacar o intenso tráfego de veículos de carga, as deficiências nos sistemas de drenagem superficial e subsuperficial e as condições climáticas características da região amazônica. Nessa seara, os dados analisados mostram que as patologias observadas não são resultado de somente um fator, mas da interação entre o tráfego pesado característico da BR-010, a insuficiência dos mecanismos de drenagem e as condições climáticas regionais. E essa combinação resulta em um cenário desfavorável.

O estudo de caso da estrada entre Dom Eliseu e Itinga do Pará indicou que a via se encontra em condições alarmantes, apresentando patologias no asfalto, como buracos, rachaduras, afundamentos e trechos críticos. Essas imperfeições afetam diretamente a segurança e o conforto dos motoristas, além de tornarem mais difícil a locomoção diária de indivíduos que necessitam da estrada para trabalhar, estudar e acessar serviços vitais.

Essas questões estão principalmente ligadas ao tráfego pesado de grandes veículos, como caminhões e implementos agrícolas, que impõem uma pressão significativa sobre o pavimento. Ademais, a falta de cuidados adequados ao longo do tempo e a inadequação do sistema de drenagem agravam ainda mais o cenário, permitindo a infiltração de água, que compromete a integridade da estrada e acelera sua degradação.

Durante o estudo, também foi possível identificar que os reparos realizados ao longo da rodovia, como os remendos, não são suficientes para resolver o problema de forma definitiva. Isso ocorre porque essas intervenções são superficiais e não tratam as causas reais dos danos. Com isso, os problemas acabam reaparecendo rapidamente, exigindo novos reparos e aumentando os custos de manutenção. Em outras palavras, a recuperação efetiva da rodovia necessita de ações de restauração estrutural fundamentadas em diagnóstico técnico adequado, contemplando a reabilitação das camadas de base e sub-base, ao mesmo tempo que a melhoria dos sistemas de drenagem, com o objetivo de eliminar as causas que promovem o reaparecimento dos defeitos.

Diante disso, é imprescindível implementar soluções que sejam mais abrangentes e eficazes. Entre as opções, destaca-se a restauração das áreas mais críticas, incluindo a remoção das seções comprometidas e a aplicação de um novo revestimento que seja mais durável. Em casos mais severos, pode ser preciso reconstruir as camadas inferiores do pavimento. Ademais, é vital aprimorar o sistema de drenagem, assegurando que a água da chuva seja escoada corretamente, além de investir em manutenções preventivas regulares para impedir a ampliação dos danos.

Entre as medidas recomendadas e consideradas mais urgentes, destaca-se a execução de fresagem dos trechos com elevado grau de deterioração, sendo feita logo em seguida a recomposição do revestimento asfáltico. Nos locais onde forem constatadas falhas estruturais com mais gravidade, especialmente em áreas com ocorrência de painéis recorrentes, trincamento tipo couro de jacaré e deformações permanentes, é necessário a realização de remendos profundos ou até mesmo a reconstrução parcial das camadas de base e sub-base.

Por fim, como sugestão para estudos futuros, recomenda-se a realização de avaliações estruturais mais aprofundadas do pavimento por meio de ensaios destrutivos e não destrutivos, capazes de fornecer dados mais detalhados a respeito da condição das camadas que compõem a estrutura da rodovia. Entre os métodos recomendados destacam-se os levantamentos deflectométricos utilizando a Viga Benkelman e o Falling Weight Deflectometer (FWD), que permitem a análise da capacidade estrutural do pavimento e a realização de retroanálises para estimativa dos módulos de resistência das camadas. Além disso, a execução de sondagens, abertura de poços de inspeção e coleta de amostras para ensaios laboratoriais podem ser determinantes para a identificação precisa das causas dos defeitos observados.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES (ANTT). **Relatório de segurança e desempenho da infraestrutura rodoviária**. Brasília, DF: ANTT, 2024.

ANDRADE, Anderson Sanclaeir de. **Principais patologias no pavimento flexível e suas causas**. Trabalho de conclusão de curso. Recife, 2022.

ANNES, Daniel Bernardi. **A infraestrutura de transporte e a capacidade de aplicação da expressão militar do poder nacional** / Cel EB Daniel Bernardi Annes. - Rio de Janeiro: ESG, 2024.

ARAÚJO, M. A. Análise comparativa de métodos de pavimentação: pavimento rígido (concreto) x Flexível (asfalto). **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo Do Conhecimento**. São Paulo, ano 01, ed. 11, v. 10, pp. 187-196, novembro de 2016.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES (ANPET). Mecânica de pavimentos e resiliência climática: avanços em solos tropicais. In: CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES, 38., 2024, Rio de Janeiro. **Anais [...]**. Rio de Janeiro: ANPET, 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE TRANSPORTE E LOGÍSTICA DE PRODUTOS PERIGOSOS (ABTLP). **Importância do transporte rodoviário para a economia brasileira**. Disponível em: <https://www.abtlp.org.br/index.php/importancia-do-transporte-rodoviario-para-economia-brasileira/>. Acesso em: 29 de mai. 2026.

BALAGUER, M. **Avaliação estrutural de um pavimento flexível executado em asfaltoborracha elaborado pelo processo de produção contínua em usina**. Dissertação de Mestrado. Instituto Militar de Engenharia. Rio de Janeiro, RJ. 2012.

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

BALBO, T. J. **Pavimentação asfáltica**. 4. ed. Oficina de Textos. Panelas ou buracos, 2016.

BERNUCCI, Liedi Légi Bariani *et al.* **Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros**. Rio de Janeiro: Petrobras: ABEDA, 2008.

BERNUCCI, L. B.; MOTTA, L. M. G.; CERATTI, J. A. P.; SOARES, J. B. **Pavimentação asfáltica**: formação básica para engenheiros. 4. ed. Rio de Janeiro: PETROBRÁS, 2017.

CABRAL FILHO, Djalma Alves. **Gestão logística e tendências da logística 4.0** / Djalma Alves Cabral Filho. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2023.

CASTRO. **Defeito dos pavimentos asfálticos e suas causas**. Rio Grande do Sul, 2011.

CHAGAS, Adriano Milani das. A importância da pavimentação urbana para o desenvolvimento regional e qualidade de vida. **Lumen Et Virtus**, São José dos Pinhais, v. XVI, n. XLVI, 2025.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA (CNI). **Desafios da infraestrutura frente aos eventos climáticos extremos**. Brasília, DF: CNI, 2025.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE (CNT). **Pesquisa CNT de rodovias 2021**. Brasília, DF: CNT, 2021.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE (CNT). **Pesquisa CNT de rodovias 2023: relatório gerencial**. Brasília, DF: CNT, 2023.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE (CNT). **Pesquisa CNT de rodovias 2024**. Brasília, DF: CNT, 2024.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE (CNT). **O transporte move o Brasil: propostas da CNT ao país**. – Brasília: CNT, 2022.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE (CNT). **Série especial de economia: investimentos em transporte**. Brasília, DF: CNT, 2025.

DANIELESKI, M.L. **Proposta de Metodologia para Avaliação Superficial de Pavimentos Urbanos: Aplicação à Rede Viária de Porto Alegre**. Porto Alegre, RS. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 151 p. 2004.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). **DNIT 005/2003-TER: defeitos nos pavimentos flexíveis e semirrígidos: terminologia**. Rio de Janeiro: DNIT, 2003.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). **DNIT 006/2003-PRO: avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semirrígidos: procedimento**. Rio de Janeiro: DNIT, 2003.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). **DNIT 008/2003-PRO: levantamento visual contínuo para avaliação da superfície de pavimentos flexíveis e semirrígidos**. Rio de Janeiro: DNIT, 2003.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). **Manual de restauração de pavimentos asfálticos**. 2. ed. Rio de Janeiro: DNIT, 2006.

GAMA, Carlos José de Paiva. **Avaliação econômica de investimentos em infraestrutura rodoviária e impacto no PIB dos estados brasileiros**. 2024. Dissertação (Mestrado em Economia) – Faculdade de Ciências Sociais e Humanas, Universidade da Beira Interior, Covilhã, 2024.

GARCEZ, Gilberto Gomes; SIMÃO, Luiz Eduardo. Diagnóstico da maturidade da logística interna de canteiro de obras. **Revista Eletrônica de Estratégia & Negócios**, Florianópolis, v.13, n. 3, 2020.

GIL, Antonio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2019.

GONÇALEZ, Viviane. **Estudo do comportamento viscoplástico de polímero semicristalino aplicado na indústria do petróleo**. Tese. Rio de Janeiro, abril de 2013.

GUIA DA ENGENHARIA. **Dimensionamento de pavimento flexível**. Disponível em: <https://www.guiadaengenharia.com/dimensionamento-pavimento-flexivel/>. Acesso em: 21 maio 2026.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Indicadores de produtividade e logística nas regiões brasileiras**. Rio de Janeiro: IBGE, 2024.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (IPEA). **Infraestrutura rodoviária e custos logísticos no Brasil**. Brasília, DF: IPEA, 2021.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (IPEA). **Infraestrutura rodoviária e custos logísticos no Arco Norte: desafios para a competitividade**. Brasília, DF: IPEA, 2024.

LOPES, Inácio Araís. **Efeito da absorção de água no comportamento da tensão de relaxamento do polímero poliamida**. Monografia. Porto Alegre, abril de 2023.

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. **Fundamentos de Metodologia Científica**. 9. ed. São Paulo: Atlas, 2021.

MEDINA, Jacques; MOTTA, Laura Maria Goretti da. **Mecânica dos pavimentos**. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2015.

NETO, Thiago Oliveira; NOGUEIRA, Ricardo José Batista. Infraestruturas, transportes e rede urbana na Amazônia: análises e perspectivas. **Cadernos do Desenvolvimento**, v. 18, n. 36, p. 79-113, set.-dez. 2023.

OLIVEIRA NETO, Thiago. **O transporte rodoviário de passageiros na Amazônia brasileira**. Tese. São Paulo, 2024.

PINTO, Salomão. **Pavimentação rodoviária: conceitos fundamentais sobre pavimentos flexíveis**. Rio de Janeiro: LTC, 1998.

RIBEIRO, T. P. Estudo descritivo das principais patologias em pavimento flexível. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**, ed. 04, ano 02, v. 01. Julho de 2017.

SILVA, Cilas Sousa da; PINHEIRO, Érika Cristina Nogueira Marques. Patologias em pavimentos flexíveis: trecho Avenida Torquato Tapajós com Avenida Constantino Nery na Cidade de Manaus – AM. **Ciências Exatas e da Terra**, Volume 28 – Edição 139/OUT 2024 / 31/10/2024.

SOARES, B. J. **Pavimentação asfáltica**. Formação Básica para Engenheiros. 2008.

SOUSA, Heron Viterbre Debique; MAGALHÃES JÚNIOR, Antonio Mendes. O impacto do PIB e do investimento em infraestrutura rodoviária na produção de caminhões no Brasil: análise de 1995 a 2022. **Revista de Gestão e Secretariado**, v. 14, n. 10, p. 16876-16883, 2023.

VALENTE, Alexandre *et al.* **Pavimentação e conservação de rodovias**. São Paulo: Oficina de Textos, 2016.

VIEIRA, E. A. **Quantificação e avaliação de danos em trecho de pavimento flexível de avenidas de Ribeirão Preto. SP, Brasil.** Estação Científica (UNIFAP) Macapá, v. 1, n. 1, p. 95-98, 2011.



ANEXOS

[illegible]

Planilha de Cálculo do IGG

RODOVIA:		PLANILHA DE CÁLCULO DO ÍNDICE DE GRAVIDADE GLOBAL (IGG)					Data:	Folha:
TRECHO:		REVESTIMENTO TIPO:					Estaca ou Quilômetro	Estaca ou Quilômetro
SUB-TRECHO:		REVESTIMENTO TIPO:					Índice de gravidade individual	Observações
Item	Natureza do defeito	Frequência absoluta	Frequência absoluta considerada	Frequência relativa	Fator de ponderação			
1	Trincas isoladas FI, TTC, TTL, TLC, TLL, TRR				0,2			
2	(FC - 2) J, TB				0,5			
3	(FC - 3) JE, TBE				0,8			
4	ALP, ATP, ALC, ATC				0,9			
5	O, P, E				1,0			
6	EX				0,5			
7	D				0,3			
8	R				0,6			
9	Média aritmética dos valores médios das flechas medidas em mm nas TRI e TRE	TRE =	TRI =	F =	1 A () 1 B ()			
10	Média aritmética das variâncias das flechas medidas em ambas as trilhas	TREv =	TRIV =	FV =	2 A () 2 B ()			
Nº TOTAL DE ESTAÇÕES		n =	Σ IND. GRAVID. IND. = IGG				Conceito	
1A) IGI = $\bar{F} \times 4/3$ quando $\bar{F} \leq 30$		2A) IGI = $\bar{FV}$ quando $\bar{FV} \leq 50$					Operador	
1B) IGI = 40 quando $\bar{F} > 30$		2B) IGI = 50 quando $\bar{FV} > 50$					Cálculo	
							Visto	