REVISTA ERR01 ISSN: 2595-1378

INFLUÊNCIA DAS TECNOLOGIAS DE MONITORAMENTO DE PAVIMENTOS NA EFICIÊNCIA E QUALIDADE DE OBRAS RODOVIÁRIAS

INFLUENCE OF PAVEMENT MONITORING TECHNOLOGIES ON THE EFFICIENCY AND QUALITY OF ROAD CONSTRUCTION PROJECTS

INFLUENCIA DE LAS TECNOLOGÍAS DE MONITOREO DE PAVIMENTOS EN LA EFICIENCIA Y CALIDAD DE LOS PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS

https://doi.org/10.56238/ERR01v10n7-040

Joseane Maria Josué de Morais
Graduação em Engenharia Civil
Instituição: Universidade São Judas Tadeu
E-mail: joseane_morais@outlook.com

José Carmino Gomes Junior
Professor orientador
Coordenação de curso de Engenharia Civil

RESUMO

No Brasil, o modal rodoviário é essencial ao desenvolvimento socioeconômico, mas apresenta vulnerabilidade ao tráfego, às intempéries e sua infraestrutura é suscetível a falhas e degradação. O estudo analisa a relevância do modal rodoviário no Brasil e avalia a condição de um trecho de pavimento flexível após intervenção de obras em uma rodovia localizada no estado de São Paulo. O objetivo consiste em identificar ocorrências estruturais e funcionais que comprometem o desempenho da via. A metodologia emprega pesquisas bibliográficas, normas técnicas e medições realizadas com o Pavement Scanner e Perfilômetro a Laser, instrumentos que permitem levantar a irregularidade longitudinal e afundamento de trilha de roda. As leituras obtidas possibilitam calcular o Índice de Irregularidade Internacional (IRI), indicador da qualidade funcional do pavimento, e o Afundamento de Trilha de Roda (ATR), que evidencia deformações estruturais. Os resultados demonstram falhas de execução e confirmam que a estrutura apresenta desgaste precoce, exigindo intervenções corretivas para garantir segurança e durabilidade. Conclui-se que o uso de tecnologias de monitoramento contribui para diagnósticos precisos e para o planejamento de ações pós-obra, reforçando a importância da gestão eficiente de rodovias.

Palavras-chave: Pavimento Flexível. Avaliação Estrutural. Avaliação Funcional. Pavement Scanner. Perfilômetro a Laser.

ABSTRACT

In Brazil, the road transport mode is essential to socioeconomic development, but it presents vulnerability to traffic, weather conditions, and its infrastructure is susceptible to failures and degradation. The study analyzes the relevance of the road transport mode in Brazil and evaluates the condition of a section of flexible pavement after construction interventions on a highway located in

the state of São Paulo. The objective is to identify structural and functional occurrences that compromise the performance of the road. The methodology employs bibliographic research, technical standards, and measurements carried out with Pavement Scanner and Laser Profilometer, instruments that allow the collection of parameters of longitudinal irregularity and rutting. The readings obtained make it possible to calculate the International Roughness Index (IRI), an indicator of the functional quality of the pavement, and the Rutting Depth (ATR), which highlights structural deformations. The results demonstrate execution failures and confirm that the structure shows early wear, requiring corrective interventions to ensure safety and durability. It is concluded that the use of monitoring technologies contributes to accurate diagnoses and to the planning of post-construction actions, reinforcing the importance of efficient road management.

Keywords: Flexible Pavement. Structural Evaluation. Functional Evaluation. Pavement Scanner. Laser Profilometer.

RESUMEN

En Brasil, el transporte por carretera es esencial para el desarrollo socioeconómico, pero es vulnerable al tráfico y a las condiciones climáticas, y su infraestructura es susceptible a fallas y degradación. Este estudio analiza la relevancia del transporte por carretera en Brasil y evalúa el estado de un tramo de pavimento flexible tras las obras en una carretera ubicada en el estado de São Paulo. El objetivo es identificar incidencias estructurales y funcionales que comprometen el rendimiento de la vía. La metodología emplea investigación bibliográfica, normas técnicas y mediciones realizadas con un escáner de pavimento y un perfilómetro láser, instrumentos que permiten evaluar la irregularidad longitudinal y el ahuellamiento. Las lecturas obtenidas permiten calcular el Índice Internacional de Rugosidad (IRI), un indicador de la calidad funcional del pavimento, y el ahuellamiento, que revela deformaciones estructurales. Los resultados demuestran fallas de ejecución y confirman que la estructura presenta un desgaste prematuro, lo que requiere intervenciones correctivas para garantizar la seguridad y la durabilidad. Se concluye que el uso de tecnologías de monitoreo contribuye a diagnósticos precisos y a la planificación de acciones posteriores a la construcción, lo que refuerza la importancia de una gestión vial eficiente.

Palabras clave: Pavimento Flexible. Evaluación Estructural. Evaluación Funcional. Escáner de Pavimento. Perfilómetro Láser.

ISSN: 2595-1378

1 INTRODUÇÃO

O transporte rodoviário é proeminente no cenário nacional como o modal mais abrangente do país, responsável por aproximadamente 65% das cargas escoadas e por quase 95% dos passageiros. O desempenho das atividades econômicas e sociais está amplamente atrelado à qualidade das rodovias, portanto, é fundamental que a infraestrutura esteja adequada para o tráfego de pessoas e mercadorias (CNT, 2024).

De acordo com informações da Confederação Nacional do Transporte (CNT, 2024) o Brasil possui uma extensa rede viária com um total de 1.720.909 quilômetros de estradas e rodovias em nível nacional. Dessas, apenas 12,4% são estradas pavimentadas, 78,5% são estradas não pavimentadas e 9,1% ainda estão em fase de planejamento para futura pavimentação.

Segundo o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT, 2006), o pavimento de uma rodovia é composto por várias camadas de espessura definida, que são construídas após o nivelamento do terreno. Esse pavimento tem a finalidade de suportar e distribuir as cargas verticais exercidas pelos veículos, melhorar as condições de rodagem em termos de conforto e segurança, e resistir às forças horizontais, tornando a superfície de rolamento mais durável. Essas camadas compreendem o revestimento, a base, a sub-base, o reforço de subleito e o subleito.

De acordo com a Confederação Nacional do Transporte (CNT, 2024), o pavimento deve atender aos critérios de desempenho tanto estrutural quanto funcional. Sobre o aspecto estrutural, a rodovia deve suportar as solicitações de carga do fluxo de veículos, resistindo também às condições climáticas a que está submetido. Sobre o desempenho funcional, representado pelo nível de conforto e segurança, o pavimento deve permitir deslocamento suave, não causar desgaste excessivo dos pneus ou nível alto de ruídos, permitir o escoamento da água na sua superfície, direcionando-a para um sistema de drenagem eficiente, e proporcionar boa aderência para evitar derrapagens.

No caso de pavimentos flexíveis, o objetivo fundamental é assegurar um tráfego rápido, seguro e satisfatório ao longo de sua vida útil. No entanto, diversos fatores podem influenciar negativamente essa função, incluindo as características do tráfego, as condições climáticas e o uso de materiais de baixa qualidade durante a construção. Esses elementos podem contribuir para o surgimento de defeitos e desgaste na estrada, resultando em problemas como fissuras, trincas, afundamentos, deformações, desgastes e outros danos (CNT, 2019).

Conforme apontado pelo (DNIT, 2005), compreender esse processo de deterioração do pavimento é crucial para identificar suas origens e determinar a abordagem mais apropriada para sua restauração.

Neste contexto, o presente estudo realiza a análise pós-obra da implantação de um trecho rodoviário em pavimento flexível, situado no estado de São Paulo. O objetivo consiste em verificar,

por meio das tecnologias aplicadas ao monitoramento de rodovias, as condições da execução e sua conformidade com as premissas de projeto, assegurando o desempenho adequado da via ao longo da vida útil prevista.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 ESTRUTURA E FUNCIONAMENTO DOS PAVIMENTOS RODOVIÁRIOS

Para (BALBO, 2007) pavimentação é sobretudo a melhoria operacional para o tráfego, criando uma superfície mais regular e mais aderente, garantindo mais conforto no deslocamento do veículo e segurança em condições de pista úmida ou molhada. Além disso, sua estrutura deve ser capaz de suportar os esforços decorrentes da ação do tráfego e condições ambientais. Os pavimentos podem ser classificados em três tipos:

- Flexível: estrutura constituída de revestimento asfáltico sobre camadas de materiais granulares. As camadas não trabalham à tração e sofrem deformação elástica decorrente da carga aplicada sobre elas, sendo essa carga distribuída em parcelas aproximadamente equivalentes entre as camadas;
- Semi-rígido: é o intermediário entre o pavimento flexível e o rígido, composta de uma base cimentada sob o revestimento betuminoso;
- Rígido: tem seu revestimento composto por placas de concreto que são mais resistentes que as camadas inferiores e absorvem praticamente todos os esforços aplicados sobre ele. Trabalha essencialmente à tração.

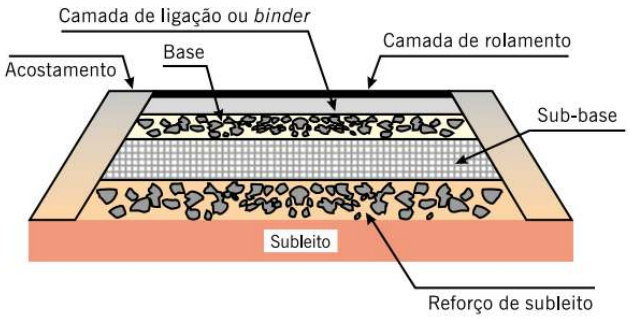
Segundo (BERNUCCI et al.,2022) pavimento é “uma estrutura de múltiplas camadas de espessura finitas, construída sobre a superfície final de terraplenagem, destinada técnica e economicamente a resistir aos esforços oriundos do tráfego de veículos e do clima, e a propiciar aos usuários melhoria nas condições de rolamento, com conforto, economia e segurança”.

2.1.1 Pavimento Flexível

Para (BALBO, 2007), cada camada que constitui o pavimento possui uma ou mais funções especificas, a fim de proporcionar para os veículos condições adequadas de suporte e rolamento em qualquer situação ambiental. Essas camadas recebem a seguinte nomenclatura: revestimento, base, sub-base, reforço do subleito e subleito, sendo este último considerado a fundação da estrutura, conforme Figura 1.

É válido ressaltar que, a representação das camadas apresentada pode sofrer variação, dependendo do pavimento. Podendo não existir a camada de sub-base ou reforço do subleito (BALBO, 2007).

Figura 1 - Camadas do Pavimento Flexível



Fonte: (BERNUCCI et.al., 2022)

Ainda conforme (BALBO, 2007) a camada superior, conhecida como revestimento ou camada de rolamento, deve ser capaz de receber as cargas, estáticas ou dinâmicas, sem sofrer grandes deformações, e para isso precisa ser composta de materiais bem aglutinados ou dispostos de maneira a evitar sua movimentação horizontal.

A camada intermediária entre a camada de rolamento e a base do pavimento é também composta de mistura asfáltica, esta camada conhecida como camada de ligação ou binder pode existir por razões técnicas, construtivas ou de custo.

A camada abaixo do revestimento é denominada base, e quando esta possui uma espessura muito grande, é geralmente dividida em duas partes por questões construtivas e econômicas, dando origem à sub-base.

Por fim, a última camada chamada de subleito é constituída de material natural consolidado ou compactado, e devem ser compatíveis aos esforços verticais aplicados no pavimento, assim como as demais camadas. Quando o subleito é composto por material com pequena resistência aos esforços, cria-se o reforço do subleito, uma camada intermediaria com solo de melhor qualidade entre a fundação e a base.

3 CONCEITO DE DESEMPENHO E QUALIDADE EM OBRAS RODOVIÁRIAS

3.1 AFUNDAMENTO DE TRILHA DE RODA

De acordo com (MOURA, 2010), a deformação permanente em trilha de roda é um problema de desempenho de pavimentos asfálticos. É definida como o acúmulo de pequenas quantidades de deformação não recuperável resultante da aplicação das cargas dos veículos.

Segundo (PINTO; PREUSSLER, 2010), em sua fase inicial esta falha só é perceptível após a ocorrência de chuva, pois os sulcos ficam preenchidos por água. Até certos limites esses afundamentos são toleráveis, porém, quando o acúmulo das deformações permanentes formam flechas expressivas nas trilhas de roda, a estrutura estará em um estado terminal e colocando em risco a segurança dos usuários.

Causas prováveis:

- Compactação insuficiente de uma ou mais camadas durante a construção;
- Mistura asfáltica inadequada (com baixa estabilidade);
- Enfraquecimento de uma ou mais camadas devido à infiltração de água;

Correção:

- Restabelecer seção transversal ou estudos específicos.

De acordo com o DNIT TER-005 (2003), o afundamento pode se apresentar de duas formas sendo o afundamento plástico resultado pela fluência plástica de uma ou mais camadas do pavimento ou do subleito, acompanhado de solevamento. Quando ocorre em extensão de até 6 m é denominado afundamento plástico local; quando a extensão for superior a 6 m e estiver localizado ao longo da trilha de roda é denominado afundamento plástico da trilha de roda. E o Afundamento de consolidação causado pela consolidação diferencial de uma ou mais camadas do pavimento ou subleito sem estar acompanhado de solevamento. Quando ocorre em extensão de até 6 m é denominado afundamento de consolidação local; quando a extensão for superior a 6m e estiver localizado ao longo da trilha de roda é denominado afundamento de consolidação da trilha de roda.

Segundo (FIALHO, 2015) os afundamentos causam acréscimos na irregularidade longitudinal do pavimento, afetando a qualidade estrutural, o custo operacional dos veículos e devido ao acúmulo de água a segurança dos usuários.

De acordo com a DNIT 433/2021 devem ser calculados os seguintes parâmetros: para as rodovias de pista simples – a média (1), o desvio padrão (2) e a variância (3) das flechas medidas nas TRI e TRE de ambas as faixas de rolamento. No caso de “terceira faixa”, os parâmetros desta faixa devem ser considerados separadamente. Já para as rodovias de pista dupla – a média (1), o desvio padrão (2) e a variância (3) das flechas medidas nas TRI e TRE das faixas de rolamento mais solicitadas de cada pista, separadamente.

Para as flechas medidas, devem ser calculados os seguintes parâmetros:

$$\bar{\alpha}=(\Sigma\ a_i)/n \qquad (1)$$

$$S=\sqrt{((\Sigma (a_i-\bar{\alpha})^2)/(n-1))} \quad (2)$$

$$S\hat{}2=(\Sigma(a_(i-)\ \bar{\alpha})^2)/(n-1) \quad (3)$$

Onde:

$\bar{\alpha}$ - média aritmética dos valores das flechas medidas (TRI e TRE), em milímetros (mm);

ai – valores individuais, em milímetros (mm);

n – número de flechas medidas;

S – desvio padrão dos valores das flechas medidas (TRI e TRE), em milímetros (mm);

S^2 – variância, em milímetros ao quadrado (mm²).

3.2 INDICE DE IRREGULARIDADE LONGITUDINAL

De acordo com (BARELLA, 2007), a irregularidade longitudinal de um pavimento representa o conjunto dos desvios indesejados de sua superfície, que atrapalha o rolamento rápido e suave dos veículos, gera insegurança e onera seus usuários, além de acelerar a degradação do pavimento.

Ainda conforme (BARELLA, 2007) cabe uma consideração sobre a palavra "longitudinal". Como os veículos trafegam paralelo ao eixo longitudinal de uma pista, é neste sentido que se mede a irregularidade, normalmente sobre os locais onde as rodas passam com mais frequência, ou seja, sobre as trilhas de roda.

Para (NEGRÃO, 2012) a segurança e o conforto ao rolamento que um pavimento proporciona estão intimamente ligados ao perfil longitudinal, à existência ou não de trilhas de roda severas e à suavidade que a superfície apresenta, ou seja, são inversamente proporcionais ao grau de irregularidade dessa superfície.

O Índice de Irregularidade Internacional (IRI) é obtido por meio da simulação matemática de um modelo denominado quarto-de-carro, que representa uma roda vinculada às características dinâmicas da suspensão e aos efeitos da massa de um veículo de passeio típico. Trata-se de uma métrica adimensional, cuja determinação utiliza um fator de escala igual a 1000, permitindo que os resultados sejam expressos em metros por quilômetro (m/km).

No contexto brasileiro, a escala padrão utilizada para avaliação da irregularidade de pavimentos é o Quociente de Irregularidade (4), expresso em contagens por quilômetro. A relação entre ambos os indicadores foi estabelecida a partir da Pesquisa de Inter-relacionamento de Custos Rodoviários, que definiu a equação de conversão entre as duas medidas, permitindo a compatibilidade dos resultados em análises comparativas nacionais e internacionais.

$$QI=(IRI\times 13) \quad (4)$$

QI- Quociente de Irregularidade

IRI- International Roughness Index.

Figura 2 - Condição do pavimento em função do IRI/QI

CONCEITO	LIMITES IRREGULARIDADE	
	IRI (m/km)	QI (cont./km)
Excelente	1 – 1,9	13 – 25
Bom	1,9 – 2,7	25 – 35
Regular	2,7 – 3,5	35 – 45
Ruim	3,5 – 4,6	45 – 60
Péssimo	> 4,6	> 60

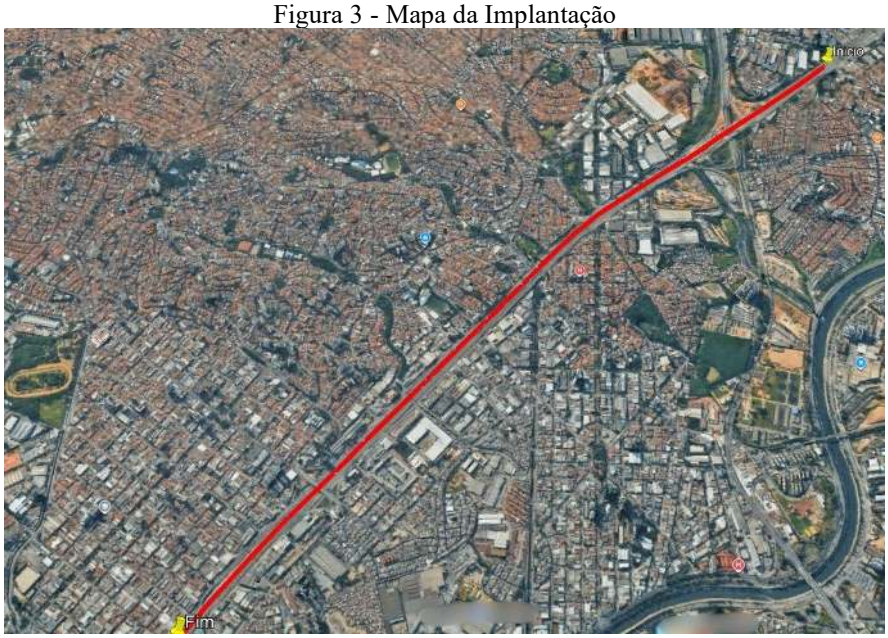
Fonte: (Adaptado Manual de Restauração – DNIT, 2006)

4 METODOLOGIA

A pesquisa pode ser caracterizada como exploratória com abordagem quantitativa.

4.1 AREA DE ESTUDO

Figura 3 - Mapa da Implantação



Fonte: (Google Maps)

O estudo foi conduzido em um trecho rodoviário em fase de implantação, com extensão aproximada de 5 km. A escolha desse segmento se justifica por suas características operacionais, que incluem elevado volume de tráfego e circulação mista de veículos leves e pesados, representando condições típicas de uma rodovia. Antes da intervenção, a via apresentava duas faixas de rolamento em cada sentido, separadas por um canteiro central que delimitava fisicamente os fluxos de tráfego opostos.

Com a implantação, o canteiro central foi redistribuído, sendo dividido proporcionalmente para cada sentido da rodovia. Essa modificação permitiu a ampliação do perímetro de rolamento destinado aos veículos, aumentando a capacidade de tráfego para três faixas e adequando a infraestrutura às demandas de circulação. Para avaliar os efeitos da intervenção, foram realizadas medições com perfilômetro a laser e uma leitura adicional com o Pavement Scanner, de modo a consolidar os dados coletados e garantir maior confiabilidade nos resultados.

Figura 4 - Trecho antes da implantação



Fonte: (Google Maps)

Figura 5 - Trecho durante a implantação



Fonte: (Google Maps)

Após a intervenção, as faixas de rolamento foram novamente subdivididas. As faixas 1 de ambos os sentidos passaram a incorporar parte do espaço anteriormente ocupado pelo canteiro central, o que implicou em um deslocamento das demais faixas. Dessa forma, parte da antiga faixa 1 passou a

compor a faixa 2, e assim sucessivamente. Essa reorganização estrutural foi considerada na análise metodológica, permitindo compreender os impactos da redistribuição espacial sobre o desempenho funcional da rodovia.

Figura 6 - Implantação concluída



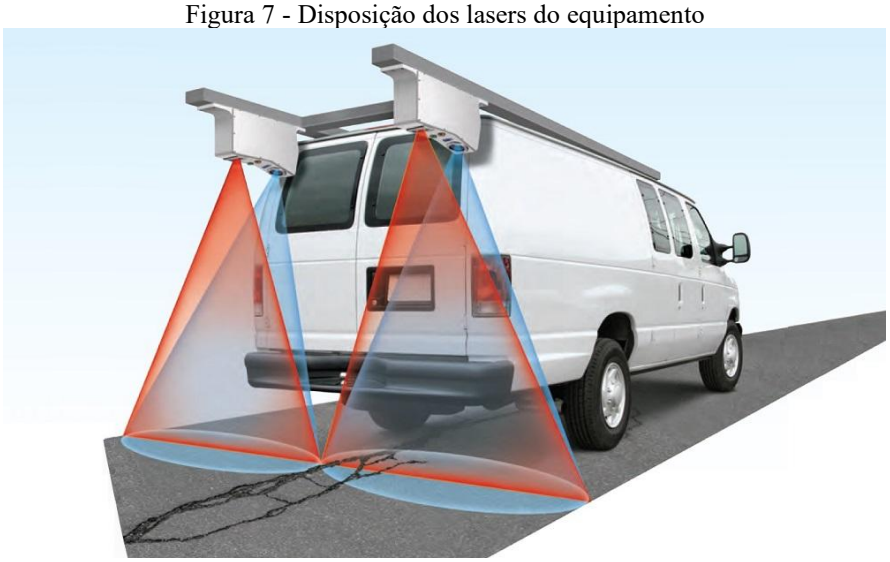
Fonte: (Google Maps)

4.2 EQUIPAMENTOS UTILIZADOS

4.2.1 Pavement Scanner

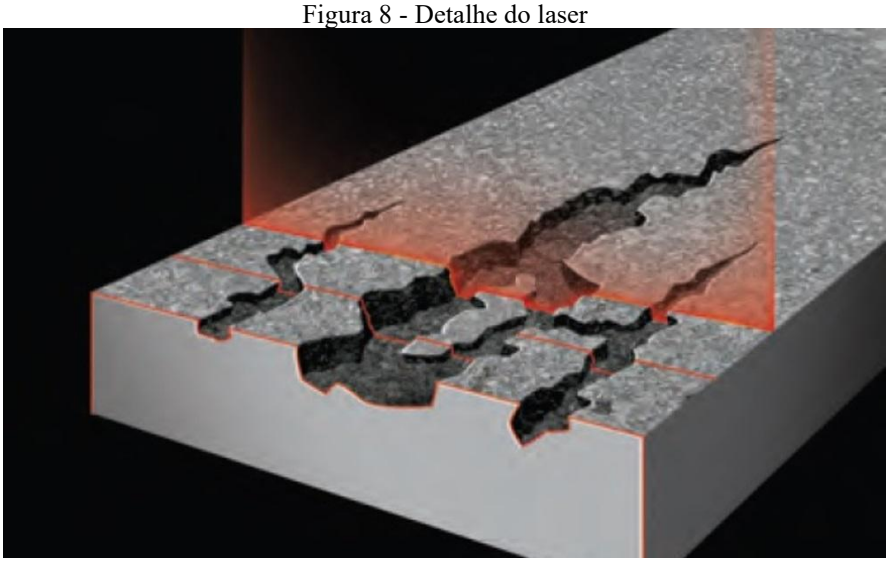
O Pavement Scanner é fixado sobre um veículo, e é composto por dois lasers 3D de alto desempenho que são capazes de gerar imagens dos perfis transversais da superfície do pavimento da rodovia com resolução de um milímetro em velocidade de tráfego. Esses lasers possuem duas distintas funções: a primeira capta os dados da superfície nas coordenadas X, Y e Z, e a segunda tem a função de coletar os dados de defeitos do pavimento (DYNATEST).

Figura 7 - Disposição dos lasers do equipamento



Fonte: (Adaptado manual Dynatest)

Figura 8 - Detalhe do laser

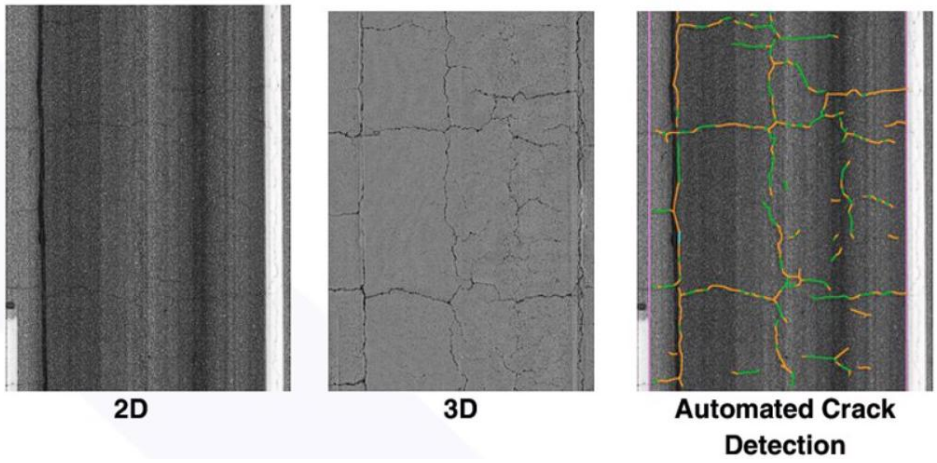


Fonte: (Adaptado manual Dynatest)

Após a realização do levantamento com o Pavement Scanner, os dados coletados foram submetidos a processamento por meio do software LCMS (Laser Cracking Measurement System). Esse procedimento possibilita a extração das imagens correspondentes ao pavimento no trecho analisado.

ISSN: 2595-1378

Figura 9 - Imagens obtidas após o processamento



Fonte: (Adaptado manual Dynatest)

Os dados gerados podem ser analisados para determinar de forma automatizada trincamentos, marcações da pista, sinalização horizontal, panelas, exsudação, desagregação, macro textura, afundamento na trilha de roda e demais ocorrências de defeitos. Em rodovias com superfície de concreto podem ser avaliadas as juntas e falhas entre as placas de concreto.

Além disso, pode-se medir a irregularidade dos perfis longitudinais, IRI – International Roughness Index, declividade e inclinação transversal. O levantamento é realizado em velocidade de tráfego normal, abrangendo uma largura de faixa de rolamento de até quatro metros, sendo as informações coletadas individualmente em cada faixa (DYNATEST).

4.2.2 Perfilômetro a Laser

De acordo com o DNIT 442/2023 PRO o perfilômetro a laser é um equipamento composto por dois ou mais sensores de deslocamento vertical sem contato, odômetro e acelerômetros, devidamente montados e conectados a um sistema de processamento computacional que, instalado em um veículo, seja capaz de medir e calcular continuamente o perfil longitudinal da superfície do pavimento por onde o veículo trafegar e o afundamento de trilha de roda. Os nomes “perfilômetro laser” ou “barra laser” são utilizados para designar o tipo mais comum de perfilômetro inercial, aquele no qual os sensores que medem a distância entre o veículo e o pavimento fazem uso de um feixe de laser.

Figura 10 - Perfilômetro instalado no veículo



Fonte: (Cybermétrica)

Após a conclusão da coleta de dados de campo, os arquivos gerados são submetidos ao processamento. Esse procedimento considerou os registros de aceleração obtidos, possibilitando a reconstrução dos perfis levantados por cada um dos sensores empregados na avaliação.

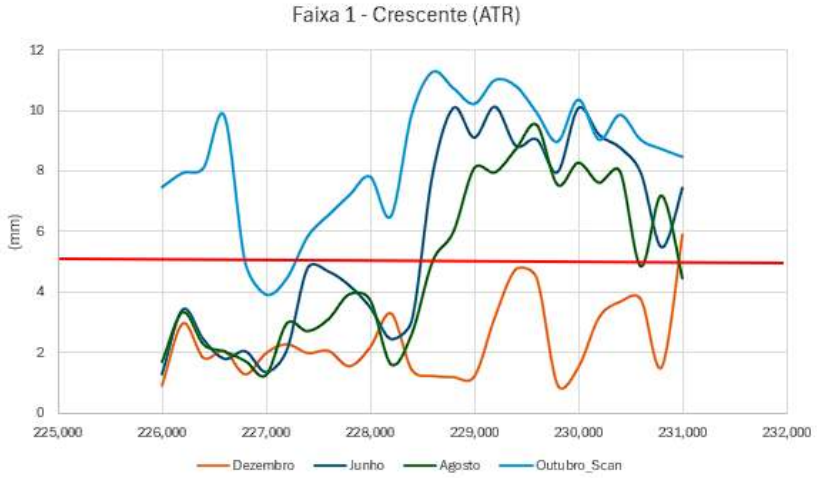
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os levantamentos realizados em diferentes períodos permitiram avaliar o desempenho estrutural e funcional do pavimento após a implantação da obra. Em dezembro, antes da intervenção, os dados coletados com o perfilômetro indicaram que o parâmetro de Afundamento de Trilha de Roda (ATR) encontrava-se dentro dos limites normativos estabelecidos pelo órgão concedente, que prevê valores iguais ou inferiores a 5 mm. Nesse mesmo período, o Índice de Irregularidade Internacional (IRI) apresentou valores próximos de 2,0 m/km, também em conformidade com o limite de 3,5 m/km, demonstrando que a rodovia atendia às condições solicitadas em seu Programa de Exploração (PER).

Nos meses de junho e agosto de 2025, já após a obra, novas leituras foram realizadas com o perfilômetro e, posteriormente, validadas com o Pavement Scanner em outubro. Os resultados revelaram que a faixa 1, que passou a incorporar parte do antigo canteiro central, apresentou valores de ATR significativamente superiores ao limite normativo e planejado para o pós-obra, indicando deformações estruturais precoces. O Pavement Scanner, por sua maior precisão, confirmou e ampliou esses achados, revelando valores ainda mais elevados de afundamento.

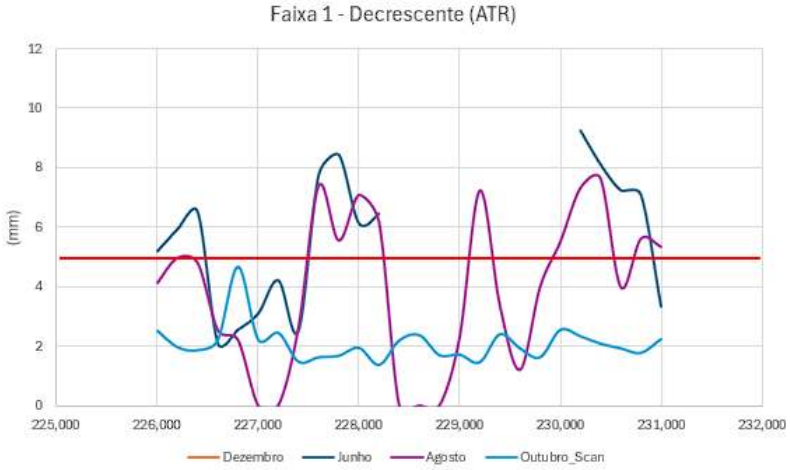
ISSN: 2595-1378

Figura 11 - Leituras de ATR realizadas com o Perfilômetro e o Pavement Scanner (Crescente)



Fonte: (Dado do Autor)

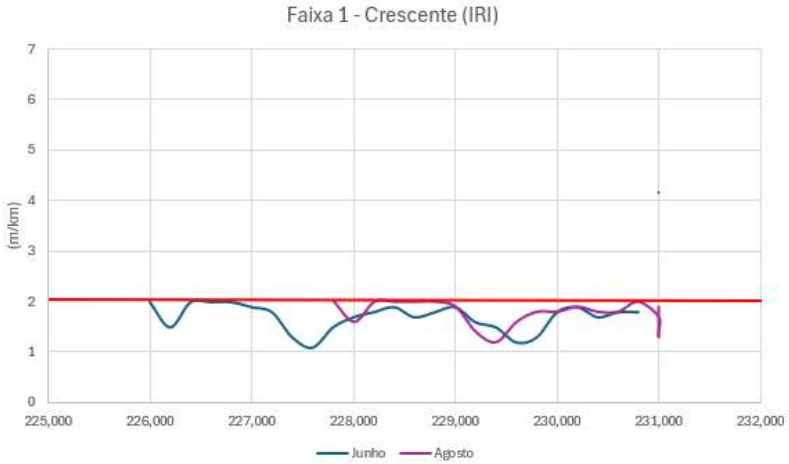
Figura 12 - Leituras de ATR realizadas com o Perfilômetro e o Pavement Scanner (Decrescente)



Fonte: (Dado do Autor)

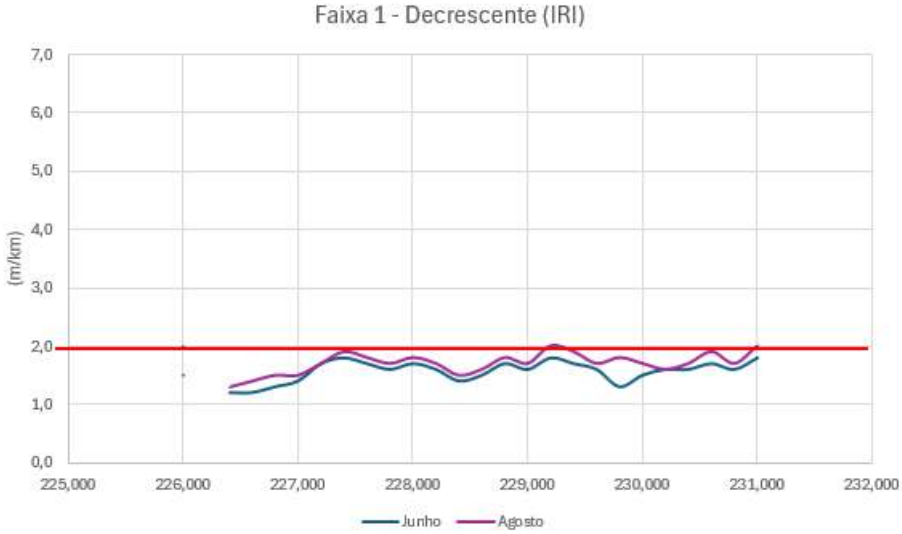
Em contrapartida, o parâmetro de IRI manteve-se estável em grande parte da extensão do trecho estudado, permanecendo dentro dos limites exigidos e assegurando o conforto ao rolamento dos usuários.

Figura 13 - Leituras de IRI realizadas com o Perfilômetro e o Pavement Scanner (Crescente)



Fonte: (Dado do Autor)

Figura 14 - Leituras de IRI realizadas com o Perfilômetro e o Pavement Scanner (Decrescente)



Fonte: (Dado do Autor)

A diferença entre os dois parâmetros pode ser explicada pela natureza distinta de cada indicador. O ATR possui caráter estrutural, atuando verticalmente sobre o pavimento e evidenciando deformações plásticas resultantes do tráfego intenso. Já o IRI está relacionado ao desempenho funcional, avaliando o conforto do usuário e atuando longitudinalmente sobre o aa camada de rolamento.

A análise histórica da rodovia e das condições de implantação evidencia que o antigo canteiro central, originalmente concebido apenas com função drenante, não possuía estrutura adequada para receber esforços verticais. No processo de execução das camadas, essa característica não foi devidamente considerada. A ausência de uma preparação correta da base e do subleito, somada ao desnível existente entre os sentidos da pista comprometeu a uniformidade da estrutura do pavimento. Como resultado, a camada de reforço e a base implantadas sobre o antigo canteiro não apresentaram a

resistência necessária, ocasionando deformações precoces e valores críticos de ATR logo após a entrega da obra.

Figura 15 – Detalhe do canteiro entre as pistas



Fonte: (Google Maps)

Os resultados obtidos estão em consonância com estudos de Moura (2010) e Pinto e Preussler (2002), que destacam a relevância do afundamento de trilha de roda como indicador de falhas estruturais e de risco à segurança dos usuários. Também corroboram as observações de Fialho (2015), que enfatiza a precisão do Pavement Scanner na validação de parâmetros.

Como propostas de solução, recomenda-se o reforço da base nas faixas implantadas sobre o antigo canteiro e o monitoramento contínuo com perfilômetro e Pavement Scanner, de modo a identificar precocemente novas deformações. Dessa forma, é possível assegurar maior segurança, durabilidade e eficiência na gestão de rodovias.

6 CONCLUSÕES

A análise realizada confirma que falhas de execução impactaram diretamente o desempenho estrutural do trecho rodoviário estudado, resultando em desgaste precoce e comprometendo a durabilidade esperada. O antigo canteiro central, que além de separar os sentidos da via também exercia função drenante, foi modificado com o nivelamento das pistas.

Parte-se da hipótese de que a ausência de uma verificação adequada da base constitutiva no sentido crescente do pavimento contribuiu para o surgimento precoce de deformações. Esses resultados demonstram que a condição inicial da obra já comprometeu a vida útil projetada do pavimento, uma vez que o parâmetro transversal (ATR) apresentou valores críticos imediatamente após a entrega

ISSN: 2595-1378

Diante desse cenário, reforça-se a importância das tecnologias de monitoramento como instrumentos indispensáveis para diagnósticos precisos e para o planejamento de ações. O acompanhamento contínuo por meio de equipamentos como perfilômetros e scanners permite identificar precocemente falhas, subsidiando decisões técnicas mais eficazes e garantindo maior segurança e durabilidade às rodovias. Assim, conclui-se que a gestão eficiente, apoiada em dados confiáveis, é fundamental para evitar que falhas construtivas comprometam a qualidade da infraestrutura viária.

REFERÊNCIAS

_____. Manual de Pavimentação. Rio de Janeiro: DNIT, 2006b. 274p. Publicação IPR – 719.

_____. Manual de Conservação. Rio de Janeiro: DNIT, 2005b. 568p. Publicação IPR – 710.

BALBO, José Tadeu Pavimentação Asfáltica: materiais, projeto e restauração. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

BARELLA, Rodrigo Maluf. Contribuição para a avaliação da irregularidade longitudinal de pavimentos com perfilômetros inerciais. 2007. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007. Disponível em: http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3138/tde-31032008-172407/. Acesso em: 20 out. 2025.

BERNUCCI, Liedi Légi Bariani et al. Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros. . Rio de Janeiro: Petrobrás. Disponível em: https://repositorio.usp.br/directbitstream/0d316eee-ef3b-4fb0-bdf7-fbd2bc7b0863/Bernucci-2008-Pavimentacao%20asfaltica.pdf. Acesso em: 20 out. 2025. , 2008

CNT. Pesquisa CNT de Rodovias 2019. Disponível em: https://pesquisarodovias.cnt.org.br/relatorio-gerencial. Acesso em: 23 setembro 2025.

CNT. Pesquisa CNT de Rodovias 2024. Disponível em: https://cnt.org.br/documento/cbf59b9e-fd1a-41fc-b230-172c4dc42100. Acesso em: 23 setembro 2025.

DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte. Defeitos nos pavimentos flexíveis e semi-rígidos – Terminologia. Norma DNIT 005/2003–TER. Instituto de Pesquisas Rodoviárias, Rio de Janeiro, 2003.

DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte. Pavimentação – Levantamento do perfil longitudinal de pavimentos com perfilômetro inercial – Procedimento. Norma DNIT 442/2023–TER. Instituto de Pesquisas Rodoviárias, Rio de Janeiro, 2023.

DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte. Pavimentação – Levantamento do percentual de área trincada e de afundamento de trilha de roda de pavimento asfáltico em trechos experimentais, monitorados ou trechos homogêneos de curta extensão – Procedimento. Norma DNIT 433/2021–TER. Instituto de Pesquisas Rodoviárias, Rio de Janeiro, 2021.

FIALHO, Paloma Cruz Gentil. Validação de resultados do inventário funcional de pavimentos flexíveis com o emprego do equipamento Pavement Scanner. 2015. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015. Disponível em: http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3138/tde-19072016-080731/. Acesso em: 20 out. 2025.

MOURA, Edson de. Estudo de deformação permanente em trilha de roda de misturas asfálticas em pista e em laboratório. 2010. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010. Disponível em: http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3138/tde-17082010-094223/. Acesso em: 20 out. 2025.

ISSN: 2595-1378

NEGRÃO, Douglas Polcaro. Contribuição para calibração de curva de evolução de afundamentos em trilha de roda de revestimentos asfálticos com utilização de resultados obtidos de simulador de tráfego em escala real. 2012. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012. Disponível em: http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3138/tde-16112012-105544/. Acesso em: 21 out. 2025.

PINTO, Salomão; PREUSSLER, Ernesto. Pavimentação Rodoviária: Conceitos fundamentais sobre pavimentos flexíveis. 2. ed. Rio de Janeiro: Synergia, 2010.

SILVA, Paulo Fernando A. Manual de patologia e manutenção de pavimentos. 2. ed. São Paulo: Editora Pini, 2008.