

DOI: 10.47094/COBRAMSEG2024/687

Estabelecimento de Segmento Rodoviário Monitorado na ERS 516: Descrição e Previsão de Área Trincada pelo Método Medina

Junior Fragoso Cousseau

Estudante da graduação, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Brasil, junior.cousseau@acad.ufsm.br

Silvio Lisboa Schuster

Professor, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Brasil, silviolschuster@ufsm.br

Luciano Pivoto Specht

Professor, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Brasil, luspecht@ufsm.br

Victória Nunes Ramos

Estudante de Doutorado, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Brasil, victorianunesramos@gmail.com

Henrique Otto Coelho

Analista em Infraestrutura de Transportes, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, Pelotas, Brasil, henrique.coelho@dnit.gov.br

RESUMO: O MeDiNa surgiu com o intuito de minimizar padrões empíricos e desenvolver formas mais mecanicistas na análise do comportamento estrutural. Inserido neste contexto, o Grupo de Estudos e Pesquisas em Pavimentação e Segurança Viária (GEPPASV), por meio de monitoramento de trechos experimentais, vem buscando contribuir para o aprimoramento da função de transferência campo-laboratório presente em modelo de desempenho utilizado pelo MeDiNa. Logo, no ano de 2022, por meio da parceria entre o DNIT e o GEPPASV, pelo Termo de Execução Descentralizada 545/2022, um novo segmento experimental foi implantado na ERS 516. Este possui 6 cm de revestimento asfáltico com ligante convencional 50/70, 20 cm de BGS, 21 cm de sub-base em macadame, e subleito de solo argiloso com ISC de 6%. O monitoramento do desempenho conta com ensaios de campo e laboratório, sendo que a mistura do revestimento possui valores de 8845 MPa para módulo de resiliência, 625 ciclos no ensaio de Flow Number e curva de vida de fadiga classe 4, estimada pelo ensaio de fadiga por compressão diametral. As simulações contaram com um tráfego acumulado (N USACE) de $9,16 \times 10^5$ repetições do eixo-padrão. Constatou-se que a mistura asfáltica não contribuirá substancialmente para afundamento em trilha de roda. Além disso, foram encontrados valores de 1,03% de área trincada ao final do primeiro ano de funcionamento, e 3,79% ao final da vida do projeto, prevendo que não haverá falha por fadiga.

PALAVRAS-CHAVE: MeDiNa, pavimento flexível, trechos monitorados, área trincada, campo-laboratório, segmento experimental.

ABSTRACT: MeDiNa emerged with the aim of abandoning empirical standards and developing mechanistic ways of analyzing structural behavior. In this context, the Grupo de Estudos e Pesquisas em Pavimentação e Segurança Viária (GEPPASV), through monitoring of experimental sections, has sought to contribute to the improvement of the field-laboratory transfer function present in the performance model used by MeDiNa. Therefore, in 2022, through a partnership between DNIT and GEPPASV, under Decentralized Execution Term 545/2022, a new experimental segment was implemented on ERS 516. This has 6 cm of asphalt surfacing with conventional 50/70 binder, 20 cm of BGS, 21 cm of macadam sub-base, and clay soil sub-base with an ISC of

6%. The performance was monitored using field and laboratory tests, with the surfacing mix having values of 8845 MPa for resilience modulus, 625 cycles in the Flow Number test and a fatigue life curve estimated by the diametrical compression fatigue test. The simulations used an accumulated traffic (N USACE) of $9,16 \times 10^5$ repetitions of the standard axis. It was found that the asphalt mix does not contribute substantially to wheel track subsidence. In addition, values of 1.03% of cracked area were found at the end of the first year of operation, and 3.79% at the end of the project life, demonstrating that there will be no fatigue failure.

KEYWORDS: MeDiNa, flexible pavement, monitored sections, cracked area, field-laboratory, experimental segment

1 INTRODUÇÃO

Com o contínuo aumento do tráfego nas rodovias brasileiras, manter o pavimento em boas condições vem se tornando relevante. Além de garantir o conforto e segurança dos usuários, tem papel significativo na redução dos custos de manutenção da rodovia e dos veículos, contribuindo, ao mesmo tempo, para a redução das emissões de carbono (AZEVEDO; JUNIOR; ARANTES, 2021; BERNUCCI et al., 2022; SCHUSTER et al., 2023). Atualmente, na busca por abandonar métodos empíricos de dimensionamento, que utilizavam coeficientes de equivalência, baseados na capacidade de suporte do subleito por meio do ISC (Índice de Suporte Califórnia), em observações de campo e experiência do projetista (Medina e Motta, 2015), o Novo Método de Dimensionamento Nacional (MeDiNa) busca, por meio de testes mecânicos, caracterizar os materiais e avaliar mecanisticamente o comportamento de estrutura de pavimentos.

Com a integração de padrões empírico-mecanicistas, que abrangem estudos mais detalhados de tráfego, mecânica dos solos e mecânica de pavimentos (PAPAGIANNAKIS; MASAD, 2008), o MeDiNa tem emergido como uma ferramenta mais avançada no dimensionamento de pavimentos, preenchendo significativas lacunas que existiam em métodos anteriores. Ao combinar dados empíricos e princípios mecânicos, o MeDiNa visa oferecer uma visão mais precisa e abrangente do comportamento dos pavimentos flexíveis (manual do medina 1.1.9.0 como (DNIT, 2023)). Isso promove uma base mais sólida e segura na previsão de seu desempenho ao longo do tempo, resultando, assim, em uma redução significativa na ocorrência de danos e falhas prematuras.

Embora ainda possam existir desafios e lacunas a serem superados, o MeDiNa representa um avanço significativo no dimensionamento de pavimentos flexíveis, demonstrando um compromisso contínuo com a inovação e a melhoria na infraestrutura viária. Nesse sentido, a fim de reduzir ainda mais lacunas, o Grupo de Estudos e Pesquisas em Pavimentação e Segurança Viária da Universidade Federal de Santa Maria (GEPPASV/UFSM) vem buscando contribuir para o aprimoramento da função de transferência entre as simulações de laboratório e o real comportamento em campo presente em modelos de desempenho, tornando as previsões do *software* MeDiNa mais assertivas.

Logo, por meio do monitoramento de trechos experimentais, que passam por condições reais de tráfego, clima e outras intempéries, são coletados valores que quantificam o verdadeiro dano sofrido pelo pavimento. Desse modo, ao comparar os danos reais do trecho com os previstos pela caracterização laboratorial de misturas asfálticas, torna-se possível entender melhor as motivações da discrepância que ocorrerá entre os resultados, a fim de atenuar a diferença entre tais valores.

Assim, o objetivo deste artigo é apresentar as características gerais de um trecho monitorado pelo Grupo de Estudos e Pesquisas em Pavimentação e Segurança Viária da UFSM (GEPPASV) na ERS 516, bem como simular as condições de projeto no *software* MeDiNa para verificação da evolução da área trincada e avaliar se a mistura asfáltica utilizada atende ao critério de deformação permanente do método, pelo teste de Flow Number.

2 METODOLOGIA

2.1 Planejamento da Pesquisa

A Figura 1 ilustra as etapas da pesquisa realizada. Inicialmente, foi executado o trecho experimental no município de São Martinho da Serra, no Rio Grande do Sul, que foi dimensionado sem a utilização do MeDiNa. Posteriormente, a mistura asfáltica do revestimento foi ensaiada em laboratório, e com os resultados obtidos foram feitas simulações no *software* MeDiNa, versão 1.1.7.0. Em seguida, com os resultados da simulação, começa-se a coleta dos dados reais, por meio de saídas de campo, avaliando os efeitos climáticos no comportamento mecânico dos materiais da camada de revestimento. Assim, com ambos os valores, de campo e laboratório, é feito o tratamento dos dados, confrontando-os a fim de desenvolver e aperfeiçoar, futuramente, a função de transferência do método MeDiNa.



Figura 1. Planejamento da pesquisa.

2.2 Apresentação do trecho analisado

No ano de 2022, por meio da parceria entre o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) e o GEPPASV, pelo Termo de Execução Descentralizada (TED) 545/2022, um segmento experimental de monitoramento foi implantado na ERS 516, trecho que liga as cidades de Santa Maria e São Martinho da Serra, no estado do Rio Grande do Sul, Brasil. O pavimento a ser monitorado está situado entre as estacas 5+220 m e 5+520 m (300 m de extensão) (Figura 2), e foi aberto para operação no dia 22/12/2022.

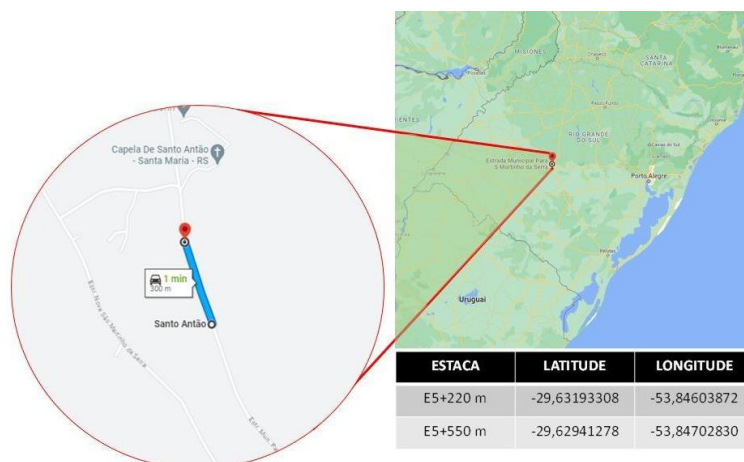


Figura 2. Mapa do trecho e suas respectivas coordenadas.

2.3 Protocolo de Ensaios do MeDiNa

Para a execução do trecho em questão, alguns ensaios foram realizados, a fim de abranger os parâmetros de rigidez e danificação do concreto asfáltico utilizados. Vale ressaltar que, no trecho em questão, estará sendo avaliado a somente características da mistura asfáltica.

2.3.1 Rigidez

Para avaliação da rigidez da mistura asfáltica, foi conduzido o ensaio de módulo de resiliência (MR) a 25°C, de acordo com as normas DNIT 135/2018 - ME. Neste ensaio, as amostras utilizadas são cilíndricas, com 100 mm de diâmetro, 63,5 mm de altura e 4% de volume de vazios. O procedimento consistiu em aplicar carregamentos cíclicos a uma frequência de 1 Hz, com ciclos de carga de 0,1 segundos, seguidos por 0,9 segundos de repouso. Posteriormente, o módulo de resiliência foi calculado utilizando a equação 1.

Na equação, MR representa o módulo de resiliência em MPa. F é a carga vertical medida em N, Δ é o deslocamento resiliente registrado em milímetros, t indica a altura do corpo de prova em milímetros e μ é o coeficiente de Poisson, com um valor adotado de 0,3.

$$MR = \frac{F}{t * \Delta} * (0,9976\mu + 0,2692) \quad (1)$$

2.3.2 Fadiga

A análise da área trincada está ligada à avaliação do dano acumulado na camada asfáltica, sendo avaliada em laboratório por meio do ensaio de fadiga por compressão diametral, como mostra a Figura 3. Para isso, amostras com características idênticas às do ensaio de MR foram submetidas ao teste, seguindo as diretrizes da norma DNIT 183/2018 – ME, e nas mesmas condições de temperatura e frequência. Durante o procedimento, foram aplicadas quatro diferentes tensões, representando percentuais variados da resistência à tração da mistura (RT) (DNIT 136/2018 – ME).

Este conjunto de ensaios foi realizado em um mínimo de 12 corpos de prova para garantir a segurança dos resultados. Os parâmetros para a análise no *software* MeDiNa, nomeadamente os coeficientes k1 e k2, foram obtidos a partir da curva de fadiga, seguindo a Equação 2. O Fator de Fadiga da Mistura (FFM) é calculado, assim, como a área sob a curva de fadiga entre deformações de 100 μ m e 250 μ m.

$$N = k_1 * \varepsilon_t^{k_2} \quad (2)$$

O símbolo N indica o número de ciclos até a ruptura completa da amostra, expressando sua vida útil à fadiga, em que ε_t representa a deformação inicial de tração observada durante o ensaio em cada nível de tensão aplicado, enquanto os parâmetros k1 e k2 são constantes experimentais, determinadas empiricamente por regressão.

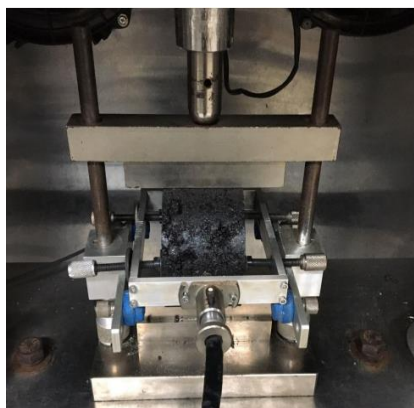


Figura 3. Ensaio de Fadiga e MR.

2.3.3 Deformação permanente

Outro parâmetro importante no dimensionamento de pavimentos flexíveis é o de deformação permanente, medido através do ensaio de Flow Number (FN), mostrado na Figura 4.



Figura 4. Ensaio de Flow Number.

Dentro do *software* MeDiNa, a análise da deformação permanente na camada asfáltica não é considerada no cálculo da equação do afundamento da trilha de roda. Contudo, para assegurar a validade desse procedimento, é necessário que a composição asfáltica atenda aos critérios do ensaio para alcançar a classe de desempenho do FN. Os limites das classes para misturas asfálticas em relação à deformação permanente estão detalhados na Tabela 1, mostrada a seguir.

Tabela 1. Limites das classes para misturas asfálticas em relação à deformação permanente

Classe	Flow Number (FN)	N recomendado Condições Normais	N recomendado Condições Severas
1	$FN \geq 100$ ciclos	$N < 1e6$	Não recomendado
2	$100 \text{ ciclos} \geq FN \geq 300$ ciclos	$1e6 \leq N \leq 1e7$	$N < 1e6$
3	$300 \text{ ciclos} \geq FN \geq 750$ ciclos	$1e7 \leq N \leq 1e8$	$1e6 \leq N \leq 1e7$
4	$750 \text{ ciclos} \geq FN \geq 2000$ ciclos	$N \geq 1e8$	$1e7 \leq N \leq 1e8$
5	$FN \geq 2000$ ciclos	-	$N_{ser} \geq 1e8$

Fonte: DNIT (2020)

2.4 Simulação do pavimento no software MeDiNa

Para o presente trabalho, foram inseridos dados do trecho no *software* MeDiNa, versão 1.1.7.0, a fim de verificar se a mistura atende aos critérios de deformação permanente do novo método de dimensionamento dos pavimentos. Nele, foram inseridos os valores de tráfego, tipo de via e camadas previstas em projeto, como mostra a Figura 5.

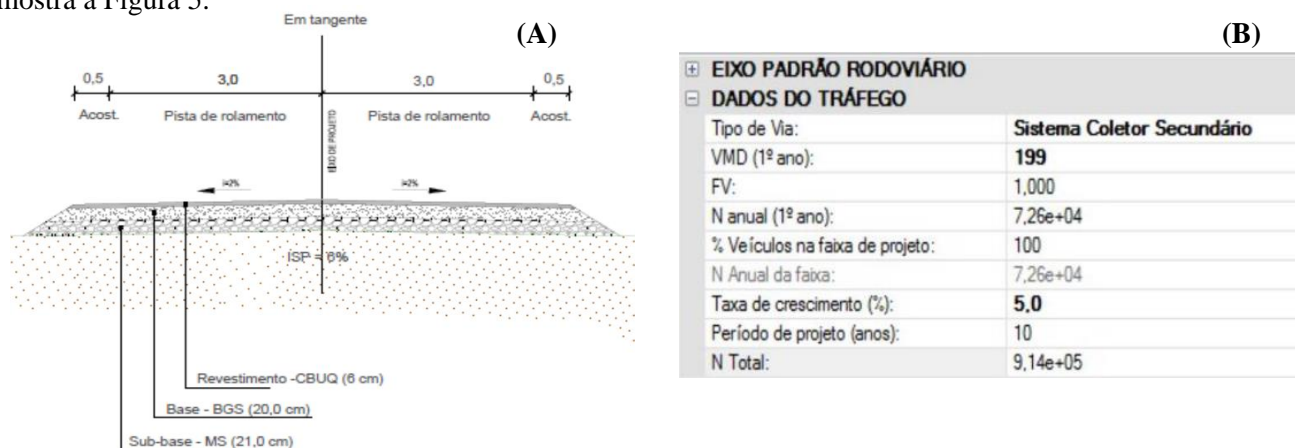


Figura 5. (a) Seção em tangente do trecho monitorado e (b) Imagem retirada do *software* MeDiNa com os dados do tráfego do trecho em questão.

A estrutura do pavimento é composta por 3 camadas: inicialmente, 6 cm de revestimento asfáltico produzido com ligante convencional 50/70, seguidos por uma base de 20 cm de brita graduada simples (BGS) e 21 cm de sub-base feita em macadame seco. Essas camadas são suportadas por um subleito de solo argiloso com ISC de 6%.

A previsão da área trincada foi prevista para um período de projeto (10 anos) e posteriormente comparada com as avaliações de campo realizadas até o momento. Essas simulações foram conduzidas considerando um tráfego acumulado (N USACE) de $9,16 \times 10^5$ repetições do eixo-padrão, conforme o estudo de tráfego realizado para o projeto da ERS 516.

2.5 Monitoramento do trecho

O monitoramento do trecho foi iniciado no primeiro mês após a liberação da via para a passagem de veículos. Neste monitoramento, foram realizados ensaios de campo para que se possa quantificar os danos sofridos na rodovia, através de acompanhamento de indicadores de tráfego, estruturais, funcionais e de defeitos presentes na superfície do pavimento. Para este trabalho, foram verificadas apenas afundamentos e percentuais de área trincada. Vale ressaltar que esses ensaios são repetidos, de maneira periódica, a cada 6 meses. A seguir, encontram-se os ensaios realizados após a execução do trecho experimental.

2.5.1 Treliça

A quantificação dos afundamentos de trilha de roda (ATR) deve ser realizada por meio do uso de uma treliça de alumínio padronizada, conforme as diretrizes estabelecidas no DNIT 006/2003 – PRO. Equipada com uma régua móvel em seu ponto médio, a treliça, mostrada na Figura 6, tem 1,20 m de comprimento na base, permitindo a medição das flechas da trilha de roda em milímetros. As medições das flechas abrangiram

as trilhas de roda interna (TRI) e externa (TRE) da pista, sendo realizadas a cada meia estaca (10 m) ao longo do trecho avaliado. Os resultados finais de cada pista foram determinados pela média simples das medidas obtidas em cada uma das trilhas de roda interna (TRI) e externa (TRE), com os valores finais registrados separadamente para cada trilha.



Figura 6. Verificação do afundamento de trilha de roda por meio da treliça.

2.5.1 Levantamento de área trincada

Em conformidade com o procedimento estabelecido pelo DNIT - 433/2021, a locação das trincas em cada faixa do trecho experimental foi determinada pela divisão da respectiva faixa em células de 2 metros de comprimento por 1/3 da largura da faixa de rolamento. O cálculo do percentual de área trincada na faixa (AT%) é então realizado considerando a relação entre o número de células com a presença de trincas e o número total de células do segmento monitorado. É importante ressaltar que qualquer defeito associado ao trincamento observado na localidade do retângulo compromete a área total do mesmo, resultando na consideração de sua região como completamente trincada.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O monitoramento do desempenho desse pavimento foi realizado pela combinação de ensaios de campo e laboratório. Os resultados desses ensaios revelaram que a mistura do revestimento apresenta um módulo de resiliência de 8845 MPa, 625 ciclos no ensaio de Flow Number e uma curva de vida de fadiga classe 4 estimada pelo ensaio de fadiga por compressão diametral, representada na Figura 7, com os parâmetros $k_1 = 2^{-14}$ e $k_2 = -4,325$.

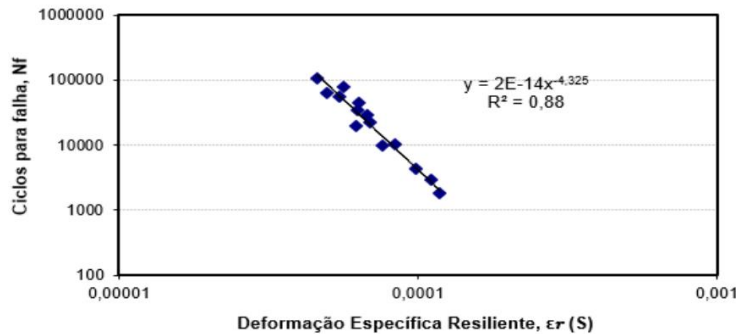


Figura 7. Curva de vida de fadiga classe 4 estimada pelo ensaio de fadiga por compressão diametral.

Para as demais camadas, foram adotados valores médios retro analisados de módulo de resiliência de rodovias do RS: 202 MPa para a camada de base, 197 MPa para a sub-base e 84 MPa para o subleito. Os dados citados estão descritos na Tabela 2.

Tabela 2. Descrição detalhada das camadas da rodovia em questão.

Descrição do Material	Tipo	Espessura (cm)	Módulo (MPa)	Coefficiente de Poisson
Cocreto Asfáltico	CBUQ	6,0	8445	0,30
Material Granular	Base	20,0	202	0,30
Material Granilar	Sub-base	21,0	197	0,40
Subleito	Subleito	-	125	0,45

Após inseridos os valores no MeDina, foi gerada uma curva com a evolução de área trincada prevista, com valores de 1,03% de área trincada ao término do primeiro ano de operação, e de 3,79% ao fim da vida útil do projeto, como mostra a Figura 8.

Evolução da área trincada prevista - São Martinho da Serra

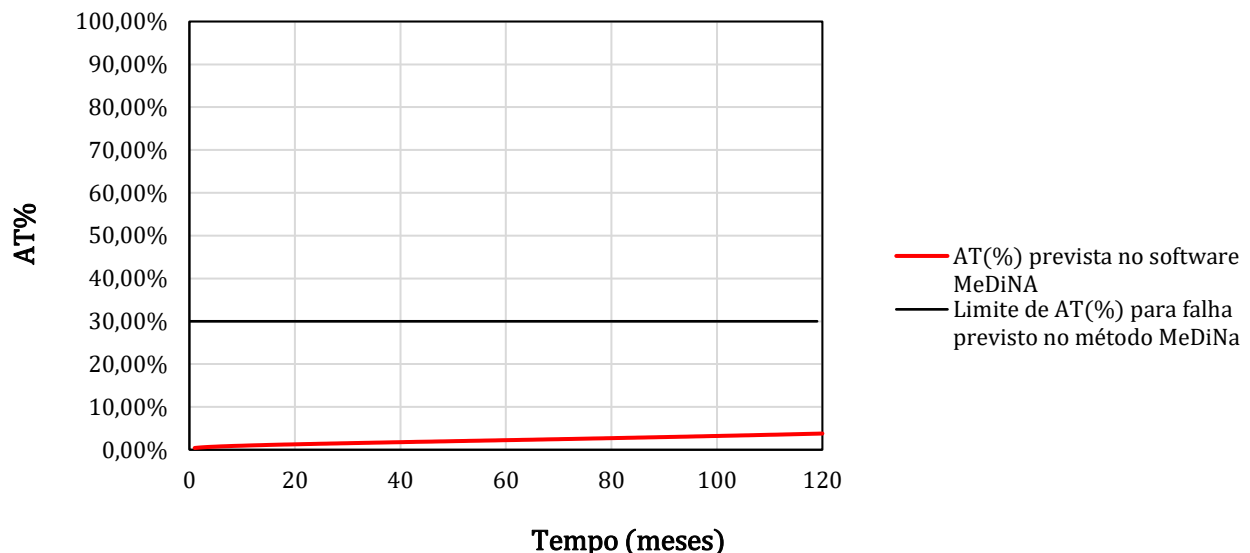


Figura 8. Evolução da área trincada prevista no Trecho São Martinho.

Já no monitoramento, foram realizadas, até o momento, medições no primeiro e sexto mês de operação do trecho. Foram encontrados valores de 0,11mm de ATR médio no primeiro mês, e de 0,12mm ao final do sexto mês. Já com relação a área trincada, foi observado AT(%) de 0% em ambos os períodos, diferente do que tinha sido previsto pelo MeDiNa, que seria de 0,42% no primeiro mês e de 0,79% no sexto mês.

Por fim, o monitoramento continuará nos próximos anos, abrangendo novos trechos monitorados. Isso permitirá refinamentos contínuos no MeDiNa, garantindo estimativa mais precisa de dimensionamento e vida útil dos pavimentos asfálticos.

4 CONCLUSÕES

O presente artigo buscou apresentar um trecho monitorado pelo GEPPASV/UFSM na ERS 516, rodovia que liga as cidades de São Martinho da Serra e Santa Maria, no Rio Grande do Sul, cuja avaliação periódica objetiva o futuro aperfeiçoamento da função transferência do novo método de dimensionamento de pavimentos (MeDiNa). O trecho foi simulado no MeDiNa, para verificação da área trincada simulada ao longo de 10 anos, e o critério de deformação permanente foi verificado para a mistura asfáltica.

Os ensaios laboratoriais revelaram que a mistura asfáltica não contribuirá significativamente para o afundamento em trilha de roda, uma vez que o valor do Flow Number excedeu o mínimo requerido para esse nível de tráfego sob condições normais. Além disso, observou-se uma taxa de 1,03% de área trincada ao término do primeiro ano de operação, e de 3,79% ao fim da vida útil do projeto, prevendo uma ausência de falha por fadiga nesta seção. Dessa maneira, o próximo passo consistirá em comparar esses resultados, obtidos por meio de simulação, com os valores reais de área trincada, os quais serão monitorados periodicamente ao longo dos próximos anos.

Esse projeto visa a expansão do banco de dados nacional e a minimização da disparidade entre os valores reais e os estimados pelo *software* MeDiNa, a fim de melhorar seu dimensionamento, reduzindo, assim, os custos de manutenção da rodovia e dos veículos, e consequentemente as emissões de carbono, além de garantir o conforto e segurança dos usuários da via.

5 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (IPR/DNIT) pelo Termo de Execução Descentralizada n° 545/2022-00, que possibilitou a condução deste estudo, bem como à ANP/Petrobras pelo apoio financeiro fornecido para esta pesquisa. Adicionalmente, manifestamos agradecimentos também ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelas bolsas concedidas, que foram fundamentais para o progresso deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Azevedo, P. O.; Junior, E. F. N.; Arantes, A. E. (2021) Effects of international roughness index on vehicle emissions. *International Journal of Vehicle Systems Modelling and Testing*, v. 15, n. 1, p. 41–59.
- Bernucci, L. B. et al. (2022) *Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros*. 2ª ed. Rio de Janeiro: PETROBRAS: ABEDA.
- Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (2023) DNIT. *Manual de utilização do programa MeDiNa*.



- Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (2018) DNIT 135/2018 - ME. *Pavimentação asfáltica-Misturas asfálticas Determinação do módulo de resiliência - Método de ensaio*. Rio de Janeiro/RJ.
- Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (2018) DNIT 136/2018 - ME. *Pavimentação asfáltica-Misturas asfálticas-Determinação da resistência à tração por compressão diametral - Método de ensaio*. Rio de Janeiro/RJ.
- Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (2021) DNIT 433/2021 - ME. *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*. Rio de Janeiro/RJ.
- Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (2018) DNIT 183/2018 - ME. *Pavimentação asfáltica - Ensaio de fadiga por compressão diametral à tensão controlada - Método de ensaio*. Rio de Janeiro/RJ.
- Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (2003) DNIT 006/2003 PRO. *Avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos - Procedimento*. Rio de Janeiro/RJ
- Papagiannakis, A. T.; Masad, E. A. (2008) *Pavement design and materials*. Hoboken: John Wiley & Sons.
- Schuster, S. L. et al. (2023) Construction quality impact in asphalt pavements cost: a framework based on air voids, linear viscoelastic and fatigue behaviour. *International Journal of Pavement Engineering*, v. 24, n. 1.