



19 a 22 de Setembro de 2023

Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



## 25º Encontro Nacional de Conservação Rodoviária (ENACOR) 48ª Reunião Anual de Pavimentação (RAPv)

### IMPORTÂNCIA DO CONTROLE DEFLECTOMÉTRICO NA EXECUÇÃO DE PAVIMENTOS RODOVIÁRIOS: ESTUDO DE CASO DA BR-110/BA

DOI: (a ser preenchido após o envio do código DOI da publicação)

*Ítalo Miller Machado Pereira<sup>1</sup>; Mario Sergio de Souza Almeida<sup>1 2</sup>; Maria do Socorro Costa São Mateus<sup>1</sup>; Acbal Rucas Andrade Achy<sup>2</sup>; Weiner Gustavo Silva Costa<sup>2</sup>; Cássio Alberto Teoro do Carmo<sup>3</sup>; Geraldo Luciano de Oliveira Marques<sup>4</sup>;*

#### RESUMO

A condição de conservação de grande parte das rodovias asfálticas no Brasil tem impulsionado a busca por melhorias desse tipo de estrutura no país, com a utilização de novas tecnologias, materiais e métodos de dimensionamento que resultem no aumento da vida útil dos pavimentos. Para propor melhorias e avaliar a sua adequação, faz-se necessário realizar o monitoramento, em campo, de segmentos experimentais. No desenvolvimento deste trabalho, acompanhou-se a reconstrução de um trecho rodoviário na BR-110, no estado da Bahia, cujo projeto proposto para a reconstrução foi simulado no *software* Elsym5, que realiza análises tensão-deformação. Com o auxílio dessa ferramenta, foi possível estimar os valores de deflexão admissível, para cada camada. Em seguida estes valores foram comparados com as deflexões medidas em campo, utilizando a viga Benkelman. Imediatamente após a reciclagem da camada de base com incorporação do revestimento existente, transformando-a em sub-base do novo pavimento, notou-se que as deflexões estavam acima dos valores máximos admitidos na análise tensão-deformação elaborada. Esta verificação permitiu uma adaptação no projeto original, de forma a minimizar o risco de ocorrência de degradação precoce da camada de revestimento asfáltico. Os resultados preliminares de caracterização do subleito apontam para um material com teor predominante de finos e comportamento mecânico inadequado que podem justificar a magnitude das deflexões medidas.

**PALAVRAS-CHAVE:** deflectometria; viga Benkelman; tensão-deformação.

#### ABSTRACT

The condition of conservation of most asphalt highways in Brazil has driven the search for improvements in this type of structure in the country, with the use of new technologies, materials and design methods that result in increasing the service life of sidewalks. To propose improvements and assess their suitability, it is necessary to monitor, in the field, experimental segments. In the development of this work, the reconstruction of a road section on BR-110, in the state of Bahia, was monitored. The proposed reconstruction project was simulated using the Elsym5 software, which performs stress-strain analyses. With the aid of this tool, it was possible to estimate the admissible deflection values for each layer. Then these values were compared with the deflections measured in the field, using the Benkelman beam. Immediately after recycling the base course with the incorporation of the existing coating, transforming it into the subgrade of the new sidewalk, it was noted that the deflections were above the maximum values allowed in the stress-strain analysis. This verification allowed an adaptation in the original design, in order to minimize the risk of early degradation of the asphalt overlay. The preliminary results of the subgrade characterization point to a material with predominant fine content and inadequate mechanical behavior that may justify the magnitude of the measured deflections.

**KEY-WORDS:** deflectometry; Benkelman beam; stress-strain is;

<sup>1</sup> Universidade Estadual de Feira de Santana, PPGCEA-DTEC, Av. Transnordestina, s/n, Feira de Santana/BA, CEP: 44036900, e-mail: italomillermachado@hotmail.com; socorro@uefs.br

<sup>2</sup> Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, e-mail: mario.almeida@ufrb.edu.br; weiner@ufrb.edu.br; acbal@ufrb.edu.br

<sup>3</sup> HUESKER Ltda., e-mail: cassiocarmo@gmail.com

<sup>4</sup> Universidade Federal de Juiz de Fora, e-mail: geraldo.marques@ufjf.br



19 a 22 de Setembro de 2023

Foz do Iguaçu - PR

[www.rapvenacor.com.br](http://www.rapvenacor.com.br)



## INTRODUÇÃO

No Brasil, de acordo com a Confederação Nacional de Transporte (2021), mais da metade das rodovias está classificada como regular, ruim ou péssima. Parte dessas estruturas foi construída com base em características antigas de tráfego e, portanto, menos severas, não atendendo mais às demandas atuais, pois se encontram em condições precárias de uso. Por essa razão, conhecer o comportamento das camadas que compõem o pavimento asfáltico é fundamental para a elaboração de projetos adequados às condições atuais de tráfego e, portanto, para a racionalização de investimentos, materiais em infraestruturas e aumento da vida-útil desse tipo de estrutura.

De acordo com Bernucci *et al.* (2022), a área de pavimentação dispõe de um aparato técnico que favorece o desenvolvimento de tecnologias, adequação de métodos e investigação de novos materiais que melhorem o desempenho dos pavimentos. A construção de segmentos experimentais, por exemplo, permite avaliar em campo e conhecer a influência de diversos fatores que impactam na durabilidade desse tipo de estrutura. Aspectos como tráfego, topografia, clima, comportamento do pavimento, materiais utilizados na região, bem como aplicação de métodos construtivos podem ser monitorados em locais específicos. Nesse sentido, uma série de estudos envolvendo a avaliação de trechos em escala real tem se desenvolvido em países como Canadá (IRALI *et al.*, 2015), Itália (LEANDRI *et al.*, 2013), (ARHIN *et al.*, 2015), Espanha (TAVIRA *et al.*, 2020), EUA e China (YANG *et al.*, 2020), (ZHANG *et al.*, 2022) e França (LE *et al.*, 2022) e, no Brasil, registram-se estudos com estratégias metodológicas semelhantes, conforme relatado neste trabalho.

Nascimento e Albuquerque (2018) monitoraram a evolução da vida útil de um trecho da BR-101, no estado de Sergipe, com uma base de brita graduada tratada com cimento (BGTC). Os autores determinaram a vida de fadiga do material em laboratório e definiram um fator laboratório-campo, a partir do monitoramento da evolução do dano causado pelo tráfego, ao longo de 36 meses. Os resultados permitiram ao desenvolvimento de um modelo de previsão de fadiga adequado, indicando que o material da base sofreu degradação precoce e não foi adequado à sua aplicação.

Santos e Rezende (2020) monitoraram um segmento de pavimento asfáltico no estado de Goiás, empregando o tratamento superficial duplo (TSD). Foram realizados ensaios de campo e de laboratório, buscando relacionar os dados de desempenho real com os resultados previstos. Os ensaios de campo envolveram a avaliação da deflexão com viga Benkelman, utilização do pêndulo britânico, mancha de areia em períodos de 7 dias, 3 meses e 6 meses. Em laboratório, os autores realizaram ensaios de Módulo de Resiliência (MR) com as amostras coletadas durante a execução da obra. Para o MR, o valor médio encontrado para o subleito foi 190 MPa e, para a sub-base e base, 329 MPa e 348 MPa, respectivamente. Com a adição de teores de cimento de 2%, 3%, 4% e 5%, a resistência apresentou incrementos significativos de MR. No entanto, o controle de compactação em campo revelou que parâmetros como umidade e grau de compactação ficaram abaixo do esperado. Por fim, os autores mostram que tais falhas de execução resultaram em um aumento indesejado das deflexões no pavimento.

Santiago, Babadopulos e Soares (2020) desenvolveram uma função de transferência, associando dados de área trincada em campo com resultados de caracterização de dano por fadiga em laboratório. Os autores utilizaram dados de 27 trechos monitorados pela COPPE na Ilha do Fundão-RJ e outros 17 trechos acompanhados pelas universidades USP, UFSC, UFRGS e UFSM. O estudo envolveu camadas de revestimento asfáltico com espessuras de 5 cm, 10 cm, 15 cm e 20cm. Para as camadas acima de 15 cm, os resultados mostraram inconsistências de previsão, quando a área trincada era superior a 30%. Contudo, os resultados para os demais casos possibilitaram a previsão do desempenho dentro dos limites esperados pelos autores.

Nesse contexto, o objetivo desse estudo é apresentar e avaliar as deflexões obtidas em campo, durante e após a reconstrução de um segmento experimental na BR-110/BA. Além disso, em razão da carência de trabalhos que estudem, em escala real, o desempenho de materiais utilizados nas rodovias do



19 a 22 de Setembro de 2023

Foz do Iguaçu - PR

[www.rapvenacor.com.br](http://www.rapvenacor.com.br)



estado na Bahia, o trecho será monitorado por tempo indeterminado e servirá para avaliar parâmetros de vida-útil e de desempenho funcional e estrutural do pavimento asfáltico.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Área de Estudo

A rodovia federal BR-110 possui 511 km de extensão inseridos no estado da Bahia, ligando as cidades de Paulo Afonso, Jeremoabo, Ribeira do Pombal, Tucano, Olindina, Cícero Dantas, Euclides da Cunha, Canudos, dentre outras. Nesse contexto geográfico, está localizado o segmento experimental selecionado para estudo, entre as estacas 11.999 e 12.014 (km 239,98 ao km 240,28), como mostra a Figura 1. O trecho estudado possui 300 metros de extensão e faz parte de um projeto de restauração de um segmento maior, com 760 m de comprimento.

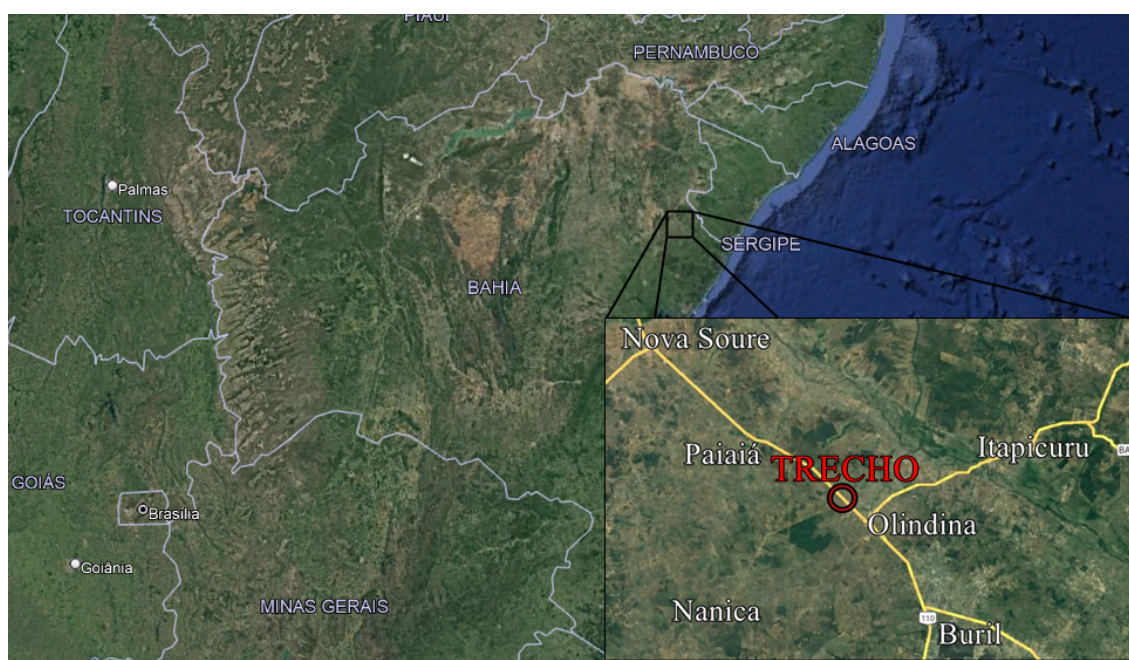
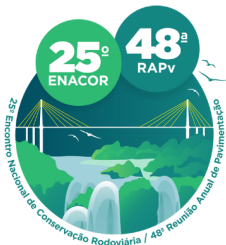


Figura 1. Localização do trecho experimental (Adaptado do Google Earth, 2023).

### Fase Preliminar e Campanha Experimental

Estudos coordenados pelo DNIT em 2021 envolveram uma campanha experimental de campo e laboratório do segmento mencionado. Os estudos contemplaram a caracterização dos materiais das camadas existentes e a realização do ensaio *California Bearing Ratio* (CBR), em laboratório e, em campo, avaliação do estado funcional e estrutural do pavimento, por meio de inspeção visual, levantamento deflectométrico com viga Benkelman e contagem de tráfego. Essa fase preliminar de estudo mostrou a necessidade de intervenção no trecho em questão. Para o presente trabalho, apresentam-se os resultados parciais de caracterização do subleito realizados até o momento, eles são referentes ao material coletado na janela 1, localizada na estaca 11.999. Além disso, a inspeção tátil-visual desse material indicou ser um solo com características de textura fina e por ser um material de camada de subleito, conseqüentemente, com influência considerável no comportamento do pavimento. Em laboratório, as amostras coletadas foram preparadas seguindo o ME DNER 041 (DNER, 1994a), com a secagem do material até a umidade higroscópica, destorroamento e quarteamento. Em seguida, realizaram-se os ensaios de densidade real, de acordo com o ME DNER 093 (DNER, 1994b), análise granulométrica por sedimentação e peneiramento, seguindo o ME



19 a 22 de Setembro de 2023

Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



DNER 051 (DNER, 1994c) e limites de consistência (Limites de Liquidez e Plasticidade), com o ME DNER 122 (DNER, 1994d) e ME DNER 82 (DNER, 1994e), respectivamente. Com base nessa série de experimentos, o material foi classificado, utilizando as metodologias *Transportation Research Board* (TRB) e Sistema Unificado de Classificação de Solos (SUCS).

### Avaliação funcional do pavimento

Por meio de inspeção visual, notou-se que o pavimento apresentava praticamente toda sua área trincada. Dentre os defeitos, como mostra a Figura 2, destacam-se: remendo superficial, couro de jacaré com erosão, placas e afundamento, tanto nas trilhas de roda quanto em demais locais. Em alguns trechos, principalmente nas bordas da rodovia, parte da camada asfáltica foi perdida e a camada de base estava exposta.



(a) remendos superficiais



(b) couro de jacaré com erosão



(c) Placa



(d) afundamento da trilha de roda

Figura 2. Condição funcional do segmento antes da reconstrução.

### Coleta dos Materiais e Identificação das Camadas

A coleta do material ocorreu em 3 janelas diferentes, com cerca de 180 kg de amostra retirada de cada camada e enviada para o laboratório de pavimentação da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB) em sacos de rafia, para posteriores análises. Inicialmente, os locais foram demarcados

e, em seguida, abertos utilizando uma retroescavadeira, como mostra a Figura 3. A massa específica aparente seca ( $\rho_d$ ) e a umidade de cada camada foram determinadas, respectivamente, com os métodos do frasco de areia e do “Speedy” de acordo com as normas DNER ME 092 (DNER, 1994f) e DNER ME 052 (DNER, 1994g). Além disso, coletaram-se amostras das para determinação de umidade em laboratório.



(a) demarcação da janela

(b) abertura da janela

Figura 3. Coleta do material: demarcação (a) e abertura da janela (b) (Autor, 2023).

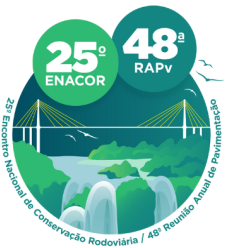
As espessuras das camadas, localização das janelas, faixa, identificação das camadas, umidade e  $\rho_d$  de campo são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Avaliação das camadas do pavimento antigo.

ESTACA	11.999		12.009+6m		12.014+15m		
FAIXA	DIREITA		ESQUERDA		DIREITA		
Esp. do revestimento (cm)	5		6,6		3,8		
Camada	Base	Subleito	Base	Subleito	Base	Sub-base	Subleito
Esp. da camada (cm)	22,00	-	17,00	-	8,50	17	-
Umidade Speedy	2,60%	10,00%	2,20%	14,20%	3,60%	4,80%	14,40%
Umidade estufa	2,16%	18,01%	0,86%	16,75%	4,05%	4,53%	15,43%
$\rho_d$ de campo ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	2,091	1,686	2,120	1,593	2,075	1,928	1,664

### Materiais do Novo Pavimento e Pré-Dimensionamento

Dado o grau de deterioração do pavimento antigo, justificou-se a necessidade de reconstrução dessa estrutura. O novo pavimento foi projetado com estrutura composta pelas camadas de reforço de subleito, sub-base, base e revestimento asfáltico, assentes sobre subleito. Essas camadas foram dimensionadas pelo Método de Projeto de Pavimentos Flexíveis do DNER (1981), após a obtenção



19 a 22 de Setembro de 2023  
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



dos parâmetros ótimos de compactação, massa específica seca máxima ( $\rho_{dm\acute{a}x}$ ) e umidade ótima ( $w_{ot}$ ), e CBR dos materiais.

O material do reforço de subleito foi composto pela moagem e mistura das camadas de base antiga e do revestimento asfáltico do pavimento antigo, formando-se, portanto, uma camada com *Reclaimed Asphalt Pavement* (RAP), material resultante da recuperação do Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ) antigo. Com o auxílio de uma máquina recicladora, o material foi removido e, em seguida, misturado *in situ*, umedecido e compactado para a formação de uma nova camada. Os parâmetros ótimos de compactação dessa camada foram obtidos por meio da coleta e compactação do material em corpos de prova de 1000 cm<sup>3</sup>, pelo método Proctor, na energia intermediária. Os materiais empregados nas camadas granulares foram o Macadame seco na sub-base e a Brita Graduada Simples (BGS) na base, conforme o perfil de camadas mostrado na Figura 6. O revestimento asfáltico foi compactado em duas etapas, inicialmente uma camada de ligação com 2 cm de espessura e uma capa asfáltica com 4 cm. Ambas as camadas foram executadas em concreto asfáltico, empregando a faixa granulométrica C do DNIT, de acordo com a ES DNIT 031/2006 e Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP) com faixa de penetração entre 50 dmm e 70 dmm.

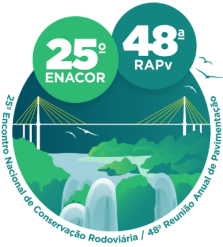
O novo pavimento foi simulado com auxílio do *software* Elsym5 (*elastic layered system*), que realiza análises de tensão-deformação. O programa solicita informações de MR, coeficiente de Poisson, espessura de cada camada, bem como a carga exercida pelo pneu do veículo e fornece valores de tensão e deflexão em profundidades desejadas. Para esse caso, utilizou-se um eixo padrão de 8,2 tf de carga distribuída em 4 pneus, 2,05 tf para cada pneu, e o distanciamento considerado entre eles foi de 32,4 cm. Os valores de MR e coeficiente de Poisson foram obtidos da IP-DE-P00/001 do Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo (DER/SP, 2006). A Tabela 2 apresenta os parâmetros utilizados para análise no Elsym5, bem como os valores de deflexão de projeto ( $D_{P1}$ ), obtidos por meio do *software*, para o topo de cada camada.

Tabela 2. Parâmetros de Projeto.

Camada	Espessura (cm)	Módulo de Resiliência (MPa)	Coefficiente de Poisson	$D_{P1}$ (10 <sup>-2</sup> mm)
Revestimento	6,0	3500	0,30	54
Base	20,0	225	0,35	59
Sub-base	25,0	350	0,35	73
Reforço de Subleito	15,0	150	0,40	126
Subleito	-	50	0,49	-

### Controle de Compactação das Camadas e Levantamento Deflectométrico

Com o decorrer da obra, após a compactação de cada camada, determinou-se a massa específica aparente seca e a umidade dos materiais, de acordo com o método do frasco de areia e *Speedy*, respectivamente, de forma semelhante ao procedimento realizado na fase de coleta dos materiais das camadas existentes antes da reconstrução. Em seguida, após a verificação do grau de compactação de, no mínimo, 100% em relação ao  $\rho_d$  de laboratório, prosseguia-se com o levantamento de deflexões em cada camada. O levantamento deflectométrico foi realizado com o uso da Viga Benkelman, como mostra a Figura 4, de acordo com o procedimento descrito no ME DNER 024 (DNER, 1994h). A viga com relação entre braços de alavanca do tipo 4:1 foi aferida, de acordo com o PRO DNER 175 (DNER, 1994i), para obtenção da constante utilizada nos cálculos de deflexão. As deflexões foram medidas em todas as camadas construídas e foram aferidas na trilha de roda externa, no centro da



19 a 22 de Setembro de 2023

Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



faixa e na trilha de roda interna de cada faixa de rolamento, nessa sequência. Dessa forma, anotaram-se os valores de leituras inicial ( $L_0$ ) e a 10 m ( $L_f$ ) da ponta de prova da viga, para cálculo dos parâmetros de deflexão real ( $D_0$ ). De posse dos dados de deflexão, fez-se o tratamento estatístico para o cálculo da Deflexão Característica ( $D_C$ ), utilizando a equação 1, de acordo com o PRO DNER 011(DNER, 1979).

$$D_c = X + \sigma \quad (1)$$

Em que:

$D_C$ : Deflexão característica;

$X$ : Deflexão média;

$\sigma$ : Desvio padrão.



Figura 4. Levantamento deflectométrico com viga Benkelman. (Autor, 2023).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Caracterização do Subleito

Os resultados do ensaio de granulometria do subleito são mostrados na Figura 5.

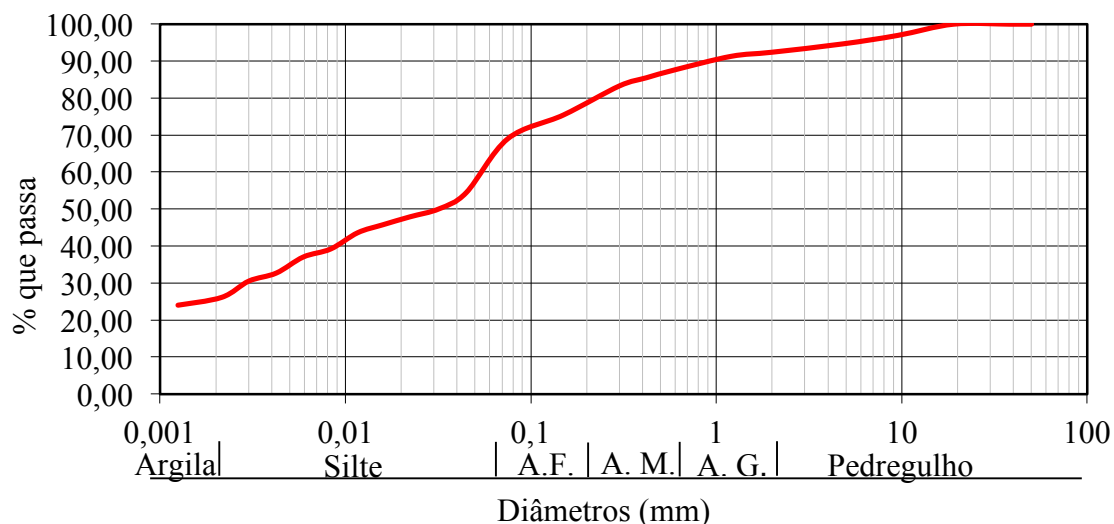
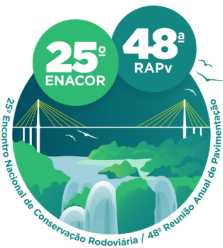


Figura 5. Curva granulométrica do material de subleito.



19 a 22 de Setembro de 2023

Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



A curva mostrada indica uma distribuição granulométrica predominante de finos, com aproximadamente 63,3% de silte e argila, com predominância de silte (37,9%) e apenas 36,7% de areia e pedregulho. A Tabela 3 exibe os resultados dos ensaios de caracterização do subleito, incluindo as frações de argila, silte, areia e pedregulho, de acordo com a NBR 6502 (ABNT, 1995), limites de consistência (LL e LP), IP e as classificações TRB e SUCS.

Tabela 3. Caracterização do Solo do Subleito.

Parâmetros	Valores
% argila ( $\phi < 0,002$ mm)	25,4
% silte ( $0,002$ mm $< \phi < 0,06$ mm)	37,9
% areia ( $0,06$ mm $< \phi < 2$ mm)	29,1
% pedregulho ( $2$ mm $< \phi < 60$ mm)	7,6
LL (%)	36
LP (%)	19
IP (%)	17
$\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> )	2,71
TRB	A-6
SUCS	CL

De acordo com a classificação (TRB), o solo foi categorizado como A-6, um material argiloso de comportamento como subleito sofrível a mal e a classificação SUCS enquadrou o material como CL, uma argila de plasticidade alta (acima de 15%) e de baixa (L) compressibilidade.

### Deflexões Medidas e Redimensionamento

Após a compactação do reforço do subleito, foi possível notar, em algumas estacas, deflexões acima dos valores de projeto previstos para essa camada. A  $D_C$  calculada nessa camada foi de 173 (0,01mm), muito superior à deflexão de projeto  $D_{P1}$  que foi de 126 (0,01mm). Portanto, com o objetivo de evitar deflexões excessivas e, conseqüentemente, a deterioração prematura na camada final de CBUQ, optou-se por redimensionar o pavimento modificando uma das camadas granulares. A nova opção de dimensionamento apontou para um aumento na espessura da camada de sub-base de 25 cm para 60 cm, entretanto, os custos da obra se elevariam significativamente. Com isso, em razão dos custos limitados e previstos no projeto, a espessura de Macadame adotada para o projeto foi de 40 cm. A Figura 6 mostra o novo perfil de pavimento redimensionado.

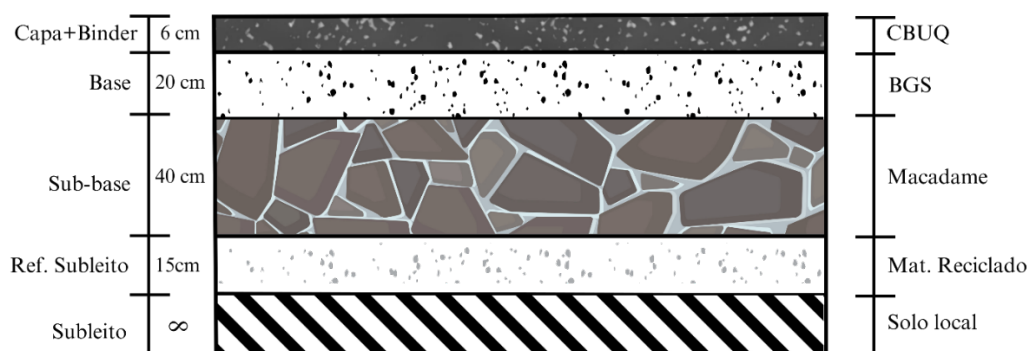
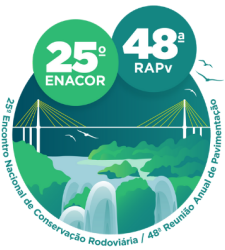


Figura 6. Perfil do pavimento redimensionado. (Autor, 2023).





19 a 22 de Setembro de 2023

Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



Além disso, estimou-se para o subleito um valor de MR condizente com os valores de deflexão medidos na camada de reforço do subleito, atendendo ao intervalo fornecido pelo DER/SP (2006). A Tabela 4 apresenta os parâmetros adotados no redimensionamento do pavimento.

Tabela 4. Parâmetros de Redimensionamento.

Camada	Espessura (cm)	Módulo de Resiliência (MPa)	Coefficiente de Poisson	DP2 ( $10^{-2}$ mm)
Revestimento	6,0	3500	0,30	55
Base	20,0	225	0,35	59
Sub-base	40,0	350	0,35	68
Reforço de Subleito	15,0	150	0,40	160
Subleito	-	38	0,49	-

### Levantamento Deflectométrico

A Figura 7 mostra os resultados das deflexões medidas em campo para cada uma das camadas.

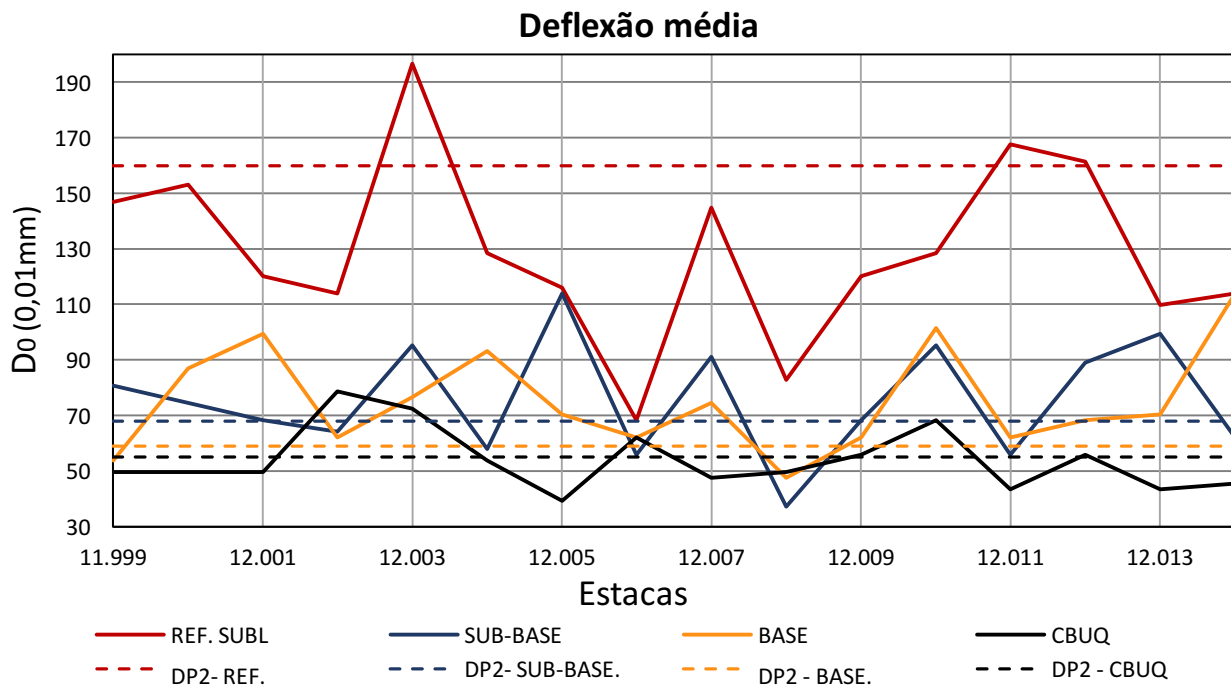


Figura 7. Deflexão média das camadas executadas. (Autor, 2023).

A Figura 7 mostra que, à medida em que as camadas foram construídas, houve uma redução significativa das deflexões de campo. De fato, as deflexões da camada de revestimento em CBUQ em comparação à camada de reforço de subleito diminuem visivelmente. Assim, apesar da nova simulação no *software* Elsym5 e do aumento considerável da espessura da camada de sub-base, notou-se que os valores de deflexão em campo continuaram acima dos valores previstos no novo projeto DP<sub>2</sub>. Acredita-se que isso se deva ao fato dos valores de MR e o coeficiente de Poisson serem estimados da literatura, ao invés de valores reais. A possível razão para as deflexões acima do que se esperava são as características do subleito, um material com teor considerável de finos e classificado



19 a 22 de Setembro de 2023

Foz do Iguaçu - PR

[www.rapvenacor.com.br](http://www.rapvenacor.com.br)



com comportamento sofrível a mal e com plasticidade alta, de acordo com as classificações TRB e SUCS.

## CONCLUSÃO

Os resultados apresentados deixam clara a importância de se determinar as características e o comportamento dos materiais que compõem as camadas de um pavimento, principalmente, quando o projeto envolve o uso de materiais naturais como um subleito com granulometria predominantemente fina. Além disso, destaca-se a relevância do levantamento deflectométrico para tomada de decisões e para entender como o desempenho das camadas em campo pode afetar a durabilidade do pavimento como um todo. O levantamento deflectométrico também contribui para o ajuste dos parâmetros de projeto, inicialmente definidos. O monitoramento periódico do segmento experimental servirá para elaboração de estudos regionais e contribuirá para o enriquecimento do banco de dados do DNIT. Em virtude da ampla extensão territorial do Brasil e das particularidades de cada local, o estudo também reforça a necessidade de adotar parâmetros condizentes com a realidade de cada região, a partir da elaboração de projetos que considerem as condições regionais, tais como materiais utilizados, características do subleito, condições climáticas e volume de tráfego.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, à Huesker, e à equipe do Laboratório de Pavimentação da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, pelo suporte fornecido para a realização do presente trabalho.

## REFERÊNCIAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. Solos e Rochas – Terminologias. NBR 6502. 1995.
- ARHIN, S. A.; WILLIAMS, L. N.; RIBBISO, A.; ANDERSON, M. F. Predicting Pavement Condition Index Using International Roughness Index in a Dense Urban Area. *Journal of Civil Engineering Research*. p. 10-17, 2015.
- BERNUCCI, L. B.; MOTTA, L. M. G.; CERATTI, J. A. P.; SOARES, J. B. Pavimentação Asfáltica. Formação Básica para Engenheiros. 2ª Edição. Rio de Janeiro. Petrobras: ABEDA, 2022.
- Confederação Nacional de Transporte. Pesquisa CNT de Rodovias de 2021. Disponível em: <https://pesquisarodovias.cnt.org.br/painel2021>. Acesso em: abril de 2023.
- Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo. DER/SP. IP-DE-P00/001. Instrução de Projeto – Projeto de Restauração de Pavimento, 2006.
- Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. (1979) DNER 011/79 PRO: Avaliação Estrutural dos Pavimentos Flexíveis. Rio de Janeiro, 16 p.
- Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. (1981) Método de Projeto de Pavimentos Flexíveis. Rio de Janeiro, 34p.
- Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. (1994h) DNER 024/94 ME: Pavimento – Determinação das deflexões pela viga Benkelman. Rio de Janeiro, 6 p.
- Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. (1994a) DNER 041/94. Solos – Preparação de amostras para ensaios de caracterização. Rio de Janeiro, 4 p.
- Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. (1994c) DNER 051/94 ME: Solos – Análise Granulométrica. Rio de Janeiro, 12 p.
- Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. (1994g) DNER 052/94 ME: Solos e agregados miúdos - Determinação da umidade com emprego do “Speedy”. Rio de Janeiro, 4 p.



19 a 22 de Setembro de 2023

Foz do Iguaçu - PR

[www.rapvenacor.com.br](http://www.rapvenacor.com.br)



Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. (1994e) DNER 082/94 ME: Solos – Determinação do Limite de Plasticidade. Rio de Janeiro, 3 p.

Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. (1994f) DNER 092/94 ME: Solo – Determinação da massa específica aparente “in situ”, com emprego do frasco de areia. Rio de Janeiro, 5 p.

Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. (1994b) DNER 093/94 ME: Solo – Determinação da densidade real. Rio de Janeiro, 4 p.

Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. (1994d) DNER 122/94 ME: Solo – Determinação do Limite de Liquidez – método de referência e método expedito. Rio de Janeiro, 7 p.

Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. (1994i) DNER 175/94 PRO: Aferição de viga Benkelman. Rio de Janeiro, 11 p.

Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. (2006) DNIT 031/2006 – ES. Pavimentos flexíveis - Concreto asfáltico - Especificação de Serviço, 14 p.

IRALI, F.; KIVI, A.; TIGHE, S. L.; SANGIORGI, C. (2015) Tire-pavement noise and wearing course surface characteristics of experimental Canadian road pavement sections. NRC Research Press, p. 818–825.

LE, X. Q.; NGUYEN, M. L.; HORNYCH, P.; NGUYEN, Q. T. Analysis of LVE behaviour and fatigue damage evolution of asphalt pavements with different interface conditions in an accelerated full-scale experiment. *International Journal of Pavement Engineering*, p. 1-14, 2022.

LEANDRI, P.; BACCI, R.; DI NATALE, A. ROCCHIO, P.; LOSA, M. Appropriate and reliable use of pavement instrumentation on in-service roads. *Airfield and Highway Pavement 2013: Sustainable and Efficient Pavements*. 2013. p. 1424-1433.

NASCIMENTO, R. S.; ALBUQUERQUE, F. S. Estudo de desempenho à fadiga de base cimentada tipo BGTC na BR-101/SE. *Revista Transportes*, v. 26, n. 1, p. 21-36, 2018.

SANTIAGO, L. S.; BABADOPULOS, L. F. A.L; SOARES, J. B. Desenvolvimento de função de transferência para previsão de área trincada em pavimentos asfálticos por meio da simulação do dano por fadiga utilizando modelo S-VECD e análises elásticas. *Revista Transportes*, v. 28, n. 3, p. 121-136, 2020.

SANTOS, H. O.; REZENDE, L. R. Mechanistic evaluation of a monitored pavement constructed with asphalt surface treatment. *Revista Transportes*. v.28, n. 5, p. 199-219, 2020.

TAVIRA, R.; JIMENÉZ, R. J; ENRIQUE, F. L.; UCEDA, A. L.; JESÚS, A. Real-scale study of a heavy traffic road built with in situ recycled demolition waste. *Journal of Cleaner Production*, v. 248, p. 119219, 2020.

YANG, S.; QI, B.; CAO, Z.; ZHANG, S.; CHENG, H.; YANG, R. Comparisons between asphalt pavement responses under vehicular loading and FWD loading. *Advances in Materials Science and Engineering*, v. 2020, p. 1-15, 2020.

ZHANG, C.; NATEGHINIA, E.; MIRANDA-MORENO, L. F.; SUN. L. Pavement distress detection using convolutional neural network (CNN): A case study in Montreal, Canada. *International Journal of Transportation Science and Technology*, v. 11, n. 2, p. 298-309, 2022.