



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)

TRECHO EXPERIMENTAL URBANO COM ALTO MÓDULO: AVALIAÇÃO DO GANHO DE VIDA ÚTIL DA ESTRUTURA.

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

Assis Rodrigues Abbud Villela¹; Pedro Francisco Hernani Santiago Henriques¹; Driely Mariane Lancarovic¹; José Geraldo Freire de Andrade Junior; Robinson Alexandre de Avila¹ & Vinicius Maróstica Alberto¹

RESUMO

Este estudo tem como meta apresentar os resultados do ganho estrutural após a fresagem e recomposição da camada com mistura asfáltica de módulo elevado (EME - Enrobé à Module Élevé). O segmento escolhido para a aplicação da mistura de EME possui tráfego elevado (executado em 03/07/2021), localizado na rodovia SP-294, inserido em área urbana no município de Pompéia/SP. A restauração consistiu na remoção de 7 cm da camada antiga do pavimento através da fresagem e posterior recomposição com o uso da mistura de EME. A avaliação da estrutura do pavimento foi feita por meio do monitoramento da deformação deflectométrica em três momentos distintos: antes da restauração, 30 dias e 150 dias após a execução. Para essa avaliação, foi utilizado o equipamento Falling Weight Deflectometer (FWD) modelo KUAB no nível de carregamento de 4,1 tf. A partir dos dados coletados, foi feita uma análise da resposta estrutural do pavimento, com base na deflexão em D0. A análise revela que o pavimento apresenta uma performance superior após a sua reabilitação, em comparação com a mistura de concreto betuminoso com ligante asfáltico convencional. Aplicando-se o método do DER-PRO 011/79, foi calculado que a duração da superfície aumentou em 231%.

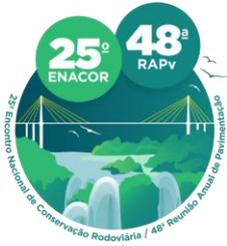
PALAVRAS-CHAVE: EME, asfalto de alto módulo, via urbana, deflexão, DER-PRO 011/79, desempenho estrutural; restauração de pavimento.

ABSTRACT

This study aims to present the results of the structural gain due to after milling the existing pavement and reconstruction of the surface course layer with high module asphalt mixture (EME - Enrobé à Module Élevé). The chosen segment for the application of the EME mixture has high traffic volume (performed constructed on 07/03/2021), located on the SP-294 highway, located in an urban area in the municipality of Pompéia/SP. The restoration consisted of removing 7 cm of the old surface pavement layer through milling and subsequent reconstruction with the use of the EME mixture. The evaluation of the pavement structure was done through monitoring of deflectometric deformation at three different times: before the restoration, 30 days and 150 days after the execution. The Falling Weight Deflectometer (FWD) KUAB model was used for this evaluation at a load level of 4.1 tf. From the data collected, an analysis of the pavement's structural response was made based on the deflection in D0. The analysis reveals that the pavement has a superior performance after its rehabilitation, compared to the conventional asphalt concrete mixture with asphalt binder. Applying the DER-PRO 011/79 method, it was calculated that the surface duration increased by 270%.

KEY WORDS: EME, high modulus asphalt, urban road, deflection, DER-PRO 011/79, structural performance; road rehabilitation.

¹ Concessionária de Rodovias EixoSP, Rodovia Washington Luís s/n, SP 310, km 216+800, pista Sul, Zona Rural, CEP: 13530-000, Itirapina/SP. E-mails: assis.villela@eixosp.com.br; driely.alves@eixosp.com.br; pedro.henriques@eixosp.com.br; robinson.avila@eixosp.com.br; vinicius.alberto@eixosp.com.br



19 a 22 de Setembro de 2023

Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



INTRODUÇÃO

A utilização de misturas asfálticas de módulo elevado (EME) na França foi direcionada para a restauração de vias urbanas devido às limitações de espessura nas camadas do pavimento, ocasionadas por interferências externas tais como: instalações de dutos de transmissões, redes de abastecimento e calçadas. As misturas EME permitiram a aplicação de camadas mais finas em relação às misturas convencionais, o que tornou possível a utilização destas misturas em vias urbanas com restrições de espessura.

Estas frequentemente são protegidas por uma camada delgada de misturas asfálticas usinadas a quente (*Béton Bitumineux TrèsMince* - BBTM), com o objetivo exclusivamente funcional. A combinação destas duas camadas tem apresentado as seguintes vantagens:

- Fornecer proteção à camada subjacente quanto à fadiga e deformação permanente. Esta proteção é possível graças à baixa presença de vazios e ao alto módulo de elasticidade das misturas EME;
- Textura superficial da camada de BBTM alta devido a composição granulométrica descontínua.

No Brasil, a primeira experiência com a utilização de misturas EME foi em 2012, durante a recuperação de uma rodovia de alto tráfego, a BR-116 (Rod. Presidente Dutra), em Jacareí, no estado de São Paulo. De acordo com VILLELA (2012), o resultado foi satisfatório nas três seções de aplicação, onde foi variada a espessura da camada de base de módulo elevado. O autor também afirma que não houve nenhum problema durante o processo, desde a produção da mistura até a aplicação da camada.

O procedimento DNER-PRO 011/79 (DNER, 1979) é utilizado no Brasil para avaliar a condição estrutural de pavimentos flexíveis, permitindo o cálculo da vida remanescente do pavimento em termos de número de solicitações de eixos equivalentes ao eixo padrão durante o período considerado (Número N). O modelo apresentado neste procedimento para tal previsão é expresso pela Equação 1, Equação 2 e Equação 3.

$$h = K \cdot \log \frac{D_a}{D_d} \quad (1)$$

$$D_a = 1023 \cdot N^{-0,176} \quad (2)$$

$$N = 1,263 \cdot 10^{17} \cdot D_a^{-5,682} \quad (3)$$

Onde:

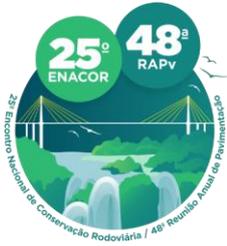
h: espessura do reforço em cm;

k: constante – função do tipo de material;

Da: deflexão antes do reforço;

Dd: deflexão após execução do reforço;

N: número “N” de repetições do eixo padrão brasileiro de 8,2 tf



19 a 22 de Setembro de 2023

Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



Este modelo, baseia-se no critério de deformabilidade elástica, considerando que existe uma correlação entre as deflexões (deflexão anterior e após a execução da camada de reforço) e o aparecimento de trincas nos pavimentos asfálticos.

Quando o reforço é constituído com concreto asfáltico convencional o procedimento recomenda a adoção do valor de K igual a 40. Entretanto, o procedimento não especifica ou sugere valores da constante K para diferentes tipos de material asfáltico, tais como asfaltos modificados (por polímero ou borracha) ou misturas EME.

Com base nos estudos realizados, Fonseca et al. (2007) propuseram uma modificação na constante utilizada nos modelos. Os autores sugerem a substituição do valor de K=40 pelo valor de K=35. Essa alteração na constante K leva em consideração as características específicas do concreto asfáltico com ligante modificado, melhorando a precisão na determinação da espessura de reforço necessária para garantir a resistência estrutural adequada.

VILLELA (2012) propõe o valor de 27 para o parâmetro K em misturas EME, considerando as características e o desempenho das misturas EME verificadas pelo autor.

Na Tabela 1 são apresentados os modelos desenvolvidos para diferentes tipos de misturas, incluindo concreto asfáltico convencional, asfalto borracha e asfalto de alto módulo. Esses modelos foram obtidos por meio de estudos e análises realizados, levando em consideração as propriedades e comportamento desses materiais em termos de desempenho estrutural.

Tabela 1 Modelos empíricos para previsão da deflexão após restauração com diferentes tipos de concreto asfáltico para EME, comparados com CBUQ e Asfalto Borracha

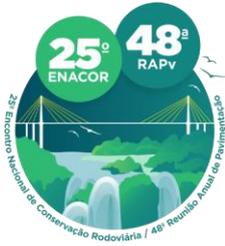
Reforço	K	$\frac{K_{CBUQ}}{K_i}$	Modelo Empírico		Fonte
			Dimensionamento	Fadiga	
CBUQ	40	1,00	$h = 40 \cdot \log \frac{D_a}{D_d}$	$D_a = 1023 \cdot N^{-0,176}$	DNER (1979)
Asfalto borracha	35	1,14	$h = 35 \cdot \log \frac{D_a}{D_d}$	$D_a = 1057 \cdot N^{-0,176}$	FONSECA et al. (2007)
EME	27	1,48	$h = 27 \cdot \log \frac{D_a}{D_d}$	$D_a = 1334 \cdot N^{-0,176}$	VILLELA (2012)

Nota:
 K_i = fator de redução de deflexão K para o outro material, que não seja o asfalto convencional (KCBUQ), deduzido em estudos citados na fonte

TRECHO EXPERIMENTAL

Localização

O Trecho Experimental está localizado entre os quilômetros 481 e 482 da Rodovia SP-294 no município de Pompéia/SP. Trata-se de um segmento em área urbana, entre a Rua Nelson Alves Bastos e Rua Espírito Santo, caracterizado como pista simples com extensão de 200 m, com uma faixa em cada sentido, conforme croqui apresentado na Figura 1.

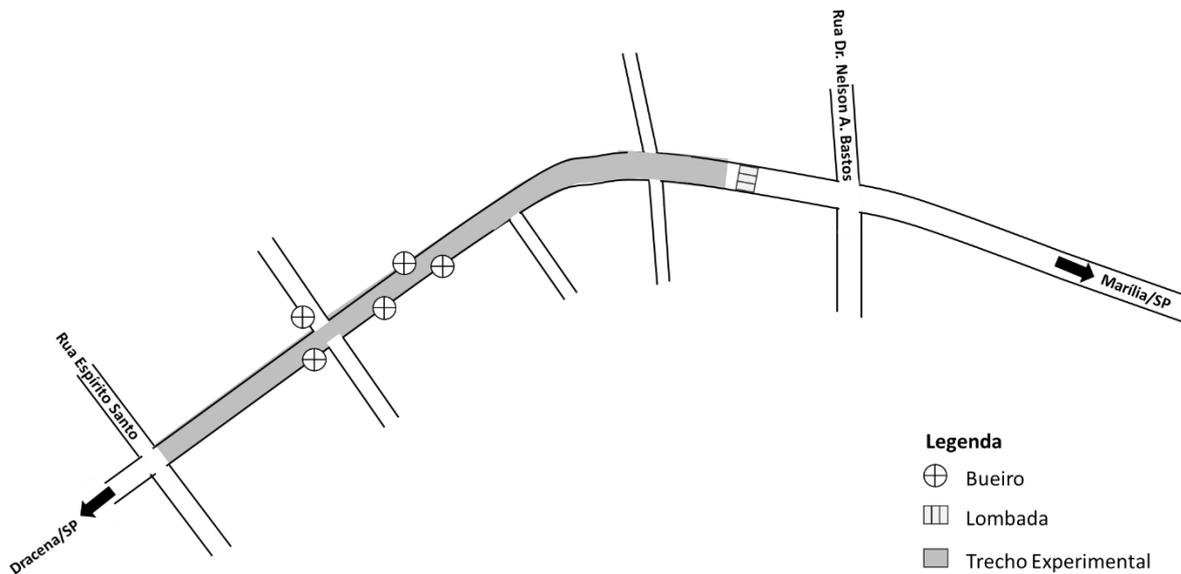


19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR
www.rapvenacor.com.br



A rodovia no segmento selecionado atravessa residências e pontos de comércio, desta forma o pavimento é constantemente submetido à esforços excessivos de aceleração e frenagem devido aos acessos com entrada e saída de veículos. Trata-se de um trecho crítico, pois recebe o tráfego elevado da rodovia, no entanto possui limitações com interferências de dispositivos de área urbana, tais como redes de abastecimento público, calçadas, meio-fio, guias, sarjetas e bueiros.

Figura 1 Croqui do trecho experimental na SP-294



Anterior à execução do trecho experimental com asfalto de alto módulo, diversas soluções com camadas asfálticas convencionais foram aplicadas para restauração da estrutura pavimento, no entanto devido às limitações executivas e de espessura máxima a ser aplicada, era verificado o surgimento precoce de defeitos. As frequentes campanhas de restauração dos pavimentos deste trecho, além de antieconômicas e contrárias às boas práticas de gestão de pavimentos, causavam perturbações à comunidade lindeira.

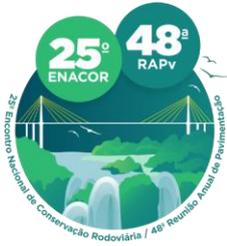
Tráfego Atuarante na Região do Trecho Experimental

No km 476+436 do Trecho Experimental, existem sensores a laço indutivo para contagem, classificação e identificação de veículos. A partir destas informações, são apresentados na Tabela 2 Número “N” de forma resumida os dados de tráfego atuarante no Trecho Experimental em 2021.

Tabela 2 Número “N”

Sentido	FV AASHTO	FV USACE	N AASHTO	N USACE
Oeste	2,64	6,99	1,93E+06	2,26E+07
Leste	2,58	7,69	1,90E+06	2,42E+07

ESTUDOS LABORATORIAIS



19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR
www.rapvenacor.com.br



Distribuição Granulométrica do EME

A composição granulométrica adotada para a mistura de elevado módulo possui uma distribuição contínua, sendo ela composta por frações de agregados miúdos e graúdos. Estes proporcionam o maior preenchimento dos vazios, resultando em uma mistura de característica densa.

Para o projeto de dosagem foram utilizados os agregados da pedra Siqueira (Agregado com classificação mineralógica Basalto), localizada na cidade de Paraguaçu Paulista/SP, sendo composto por 14% de brita 1, 18% de brita ½, 18% de pedrisco e 50% de pó de pedra. Foi adotada a faixa granulométrica de VAL MELÚS (1996), conforme Figura 2. As características dos agregados atenderam aos limites estabelecidos conforme especificação ET-DE-P00/027 do DER-SP e ASTM D-4791

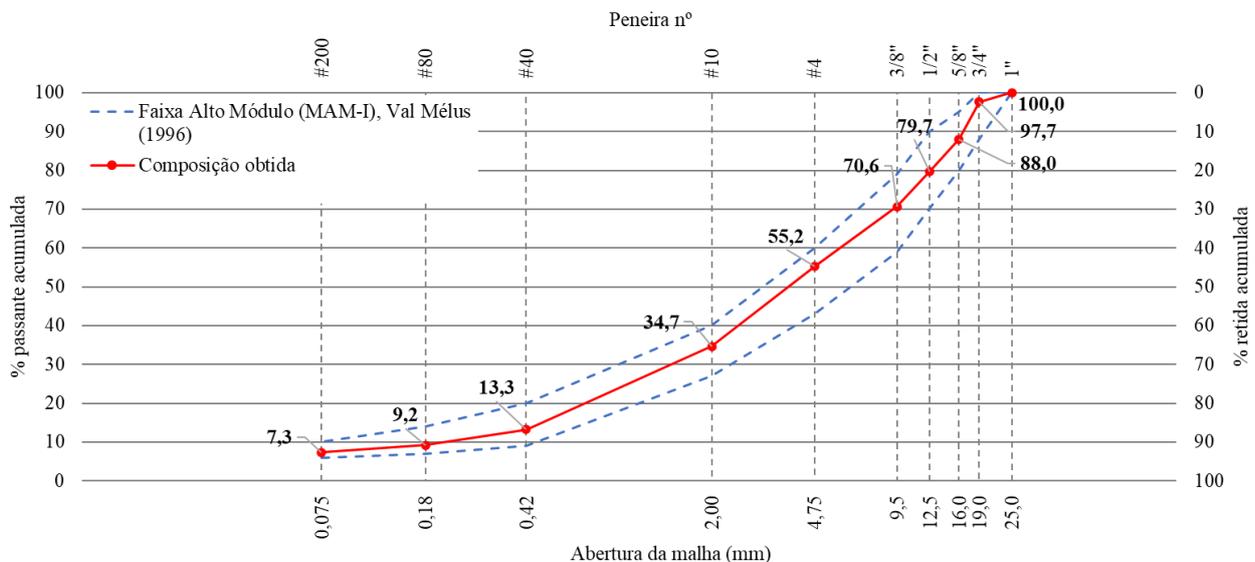


Figura 2 Composição granulométrica obtida

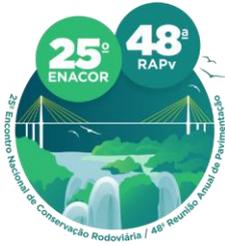
Caracterização do Ligante do EME

Os dados do controle de recebimento do ligante asfáltico, realizados no local onde a mistura foi usinada, estão apresentados na Tabela 3, considerando os limites adotados por VILLELA (2012). Salienta-se que trata-se de um ligante comercialmente oferecido pelas empresas distribuidoras de asfalto.

Tabela 3 Caracterização do ligante asfáltico

Descrição	Especificação	Limite	Resultado
Penetração a 25°C, 5s, 100g, (dmm)	NBR 6576	10 a 20	18,5
Ponto de amolecimento anel e bola, (°C)	NBR 6560	60 a 76	68,3
Viscosidade Brookfield, a 135°C, 20 RPM, (cP)	NBR 15184	600 a 3.000	1.825
Viscosidade Brookfield, a 150°C, 50 RPM, (cP)		≥ 300	734
Viscosidade Brookfield, a 177°C, 100 RPM, (cP)		≥ 150	200

Projeto da Mistura do EME



19 a 22 de Setembro de 2023

Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



Na Tabela 5 estão indicados os valores obtidos para a mistura EME para os demais parâmetros e os seus respectivos limites, definidos conforme especificação ET-DE-P00/027 do DER-SP.

Tabela 4 Parâmetros de projeto

Parâmetro	Limite	Resultado
Teor de ligante, (%)	$\geq 5,1$	5,15
Módulo de riqueza "k"	$\geq 3,2$	3,4
Massa específica aparente, (g/cm ³)	Indicativo	2,548
Massa específica máxima teórica, (g/cm ³)	Indicativo	2,640
Volume de vazios, (%)	3,0 a 3,5	3,5
Relação betume vazios, (%)	65 a 80	78,4
Vazios no agregado mineral, (%)	≥ 14	16,2
Resistência à tração por compressão diametral, (kgf/cm ²)	≥ 8	16,07
Fluência, (mm)	2 a 4	4,0
Estabilidade, (kgf)	≥ 816	1.299

METODOLOGIA

Para a avaliação da condição estrutural do pavimento antes e após a restauração do pavimento com a mistura asfáltica EME, a bacia de deformação elástica recuperável do pavimento foi determinada pelo equipamento FWD (*Falling Weight Deflectometer*) modelo Kuab com carregamento de 4,1 tf. As deflexões foram avaliadas em três diferentes estágios: imediatamente antes da execução do EME, 30 dias após e 150 dias após, conforme sintetizado na Figura 3.

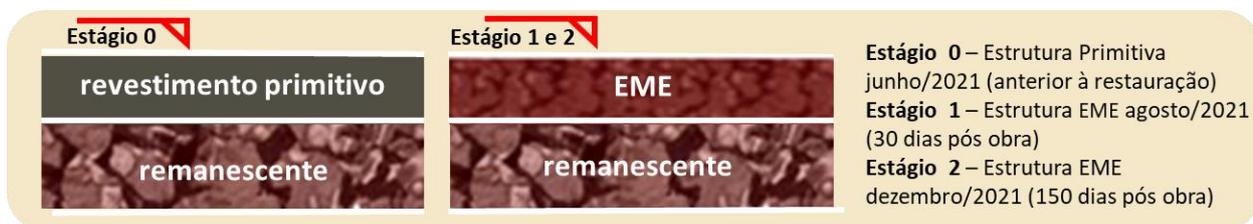
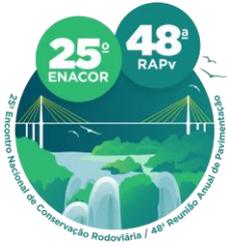


Figura 3 Sequência executiva dos ensaios de deflexão no trecho experimental

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir das deflexões registradas foi utilizado o modelo preconizado no procedimento DNER-PRO 011/79 (DNER, 1979) para previsão do fator de redução K para cálculo da deflexão esperada após restauração com EME, baseado nas Equações 1,2 e 3. Além disso, utilizou-se este mesmo modelo para estimativa da vida útil remanescente do pavimento restaurado.

Para análise dos dados, as deflexões medidas foram previamente corrigidas para a carga exata de 4,1 tf e a temperatura da superfície do pavimento de 21°C, conforme preconizado pela AASHTO (1993). As deflexões máximas (D0) obtidas após ensaio em campo antes e após 150 dias da restauração com EME estão apresentadas na Figura 4 e Figura 5.



19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR
www.rapvenacor.com.br

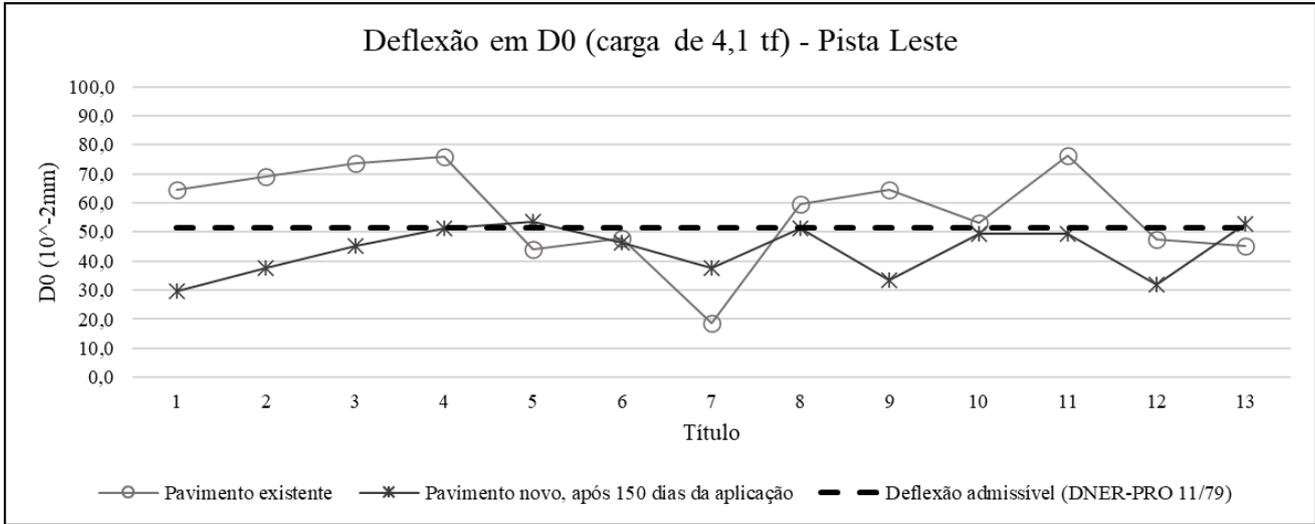


Figura 4 Deflexões registradas no ponto de aplicação da carga (D0) na Pista Leste

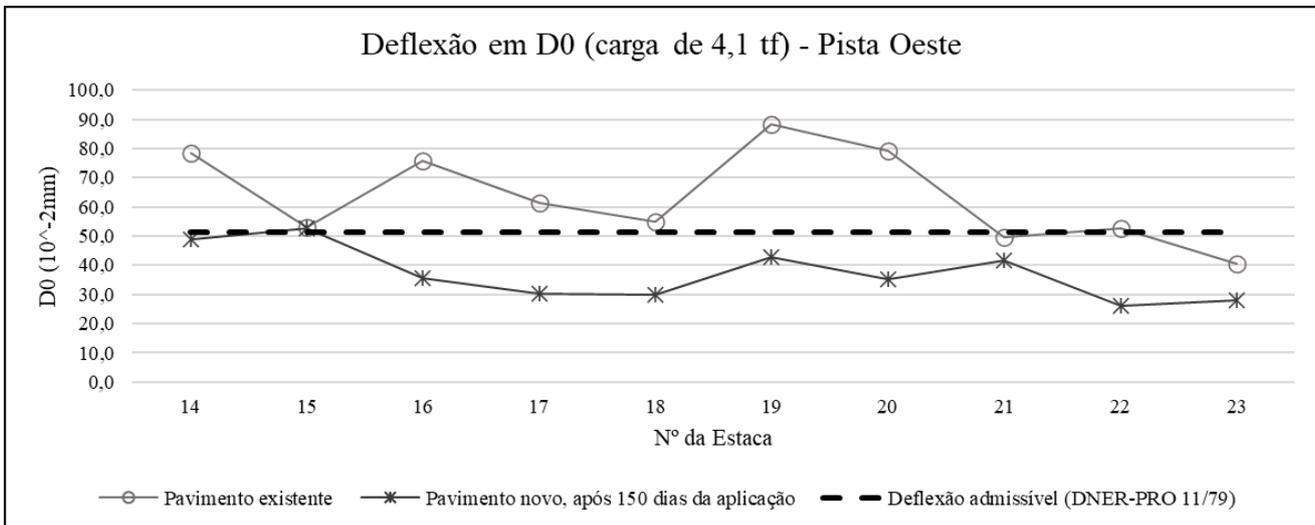
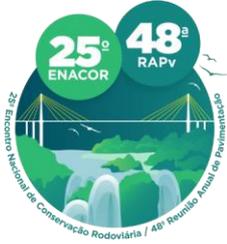


Figura 5 Deflexões registradas no ponto de aplicação da carga (D0) na Pista Oeste

O fator de redução de deflexão K foi calculado utilizando a Equação 1 e, em seguida, foi realizado o Teste de Grubbs para identificar possíveis outliers. Com base nessa análise, os valores de K identificados como outliers foram identificados e excluídos inclusive os dados de deflexão destas estacas. Os dados mantidos estão apresentados na Tabela 5 e representados graficamente na Figura 6.



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

www.rapvenacor.com.br



Tabela 5 Dados de deflexão e fator “K” considerados após análise estatística

Estaca	Sentido	Deflexão antes (10^{-2} mm)	Deflexão após reforço (10^{-2} mm)	K_{EME}	Análise de outliers (Teste de Grubbs)
Estaca 1	Leste	64	29	21	
Estaca 2	Leste	69	38	27	
Estaca 3	Leste	74	45	33	
Estaca 4	Leste	76	51	41	
Estaca 5	Leste				excluído
Estaca 6	Leste				excluído
Estaca 7	Leste				excluído
Estaca 8	Leste				excluído
Estaca 9	Leste	64	34	25	
Estaca 10	Leste				excluído
Estaca 11	Leste	76	49	37	
Estaca 12	Leste	47	32	41	
Estaca 13	Leste				excluído
Estaca 14	Oeste				excluído
Estaca 15	Oeste				excluído
Estaca 16	Oeste	76	36	21	
Estaca 17	Oeste	61	30	23	
Estaca 18	Oeste	55	30	27	
Estaca 19	Oeste	88	43	22	
Estaca 20	Oeste	79	35	20	
Estaca 21	Oeste				excluído
Estaca 22	Oeste	53	26	23	
Estaca 23	Oeste				excluído
Média:		67,91	36,78	27,68	
Desvio padrão:		12%	8%	8%	-

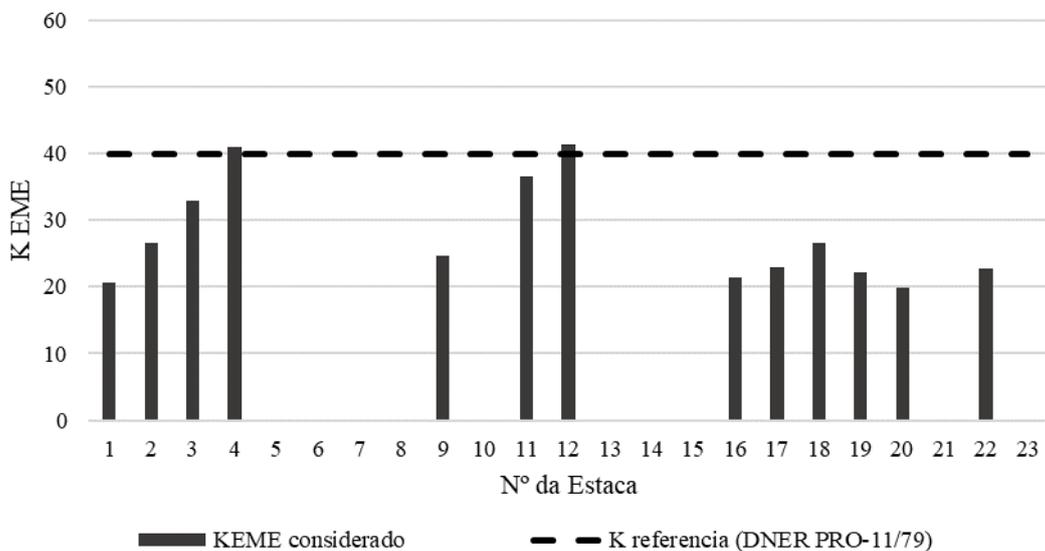
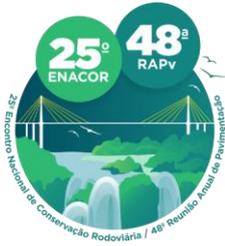


Figura 6 Fator redutor K após tratamento estatístico dos dados



19 a 22 de Setembro de 2023

Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



De acordo com as avaliações, foi possível observar que houve redução dentro do esperado comprovando a eficiência da mistura de EME. Desta forma, foi obtido o valor médio de K igual a 28, com desvio padrão em 8%.

Com base nas Equações 1, 2 e 3, foram obtidos os valores de “Dd” e número “N” calculados para o valor de D0 médio de antes da obra.

$$D_d = 10^{-0,025 \times 7} \times 67,91 = 45,4 \times 10^{-2} mm$$

$$N = 1,263 \times 10^{17} \times 67,91^{-5,682} \times 10^{0,142 \times 7} = 4,16 \times 10^7$$

Assim, também foi obtido o número “N” calculado para o valor de D0 médio medido no campo após a aplicação da EME.

$$N = 1,263 \times 10^{17} \times 36,78^{-0,5,682} = 1,61 \times 10^8$$

Com estes resultados, é possível analisar o ganho do desempenho que a mistura de EME proporciona para a estrutura em relação à mistura convencional.

A diminuição de 21% na deflexão reflete na resistência da camada quanto a deformação permanente. Já o aumento de 270% na vida útil da estrutura proporciona maior desempenho do pavimento ao longo do tempo. Em resumo, estes resultados destacam a eficiência e vantagem da utilização da mistura de EME em relação à mistura convencional

$$\text{Redução deflectométrica} = \frac{45,4 \times 10^{-2} - 36,78 \times 10^{-2}}{46,7 \times 10^{-2}} \times 100 = 19\%$$

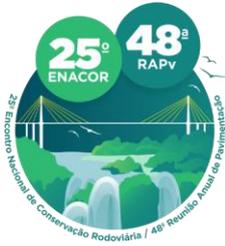
$$\text{Ganho da vida útil} = \frac{1,61 \times 10^8 - 4,86 \times 10^7}{4,86 \times 10^7} \times 100 = 231\%$$

CONCLUSÃO

A aplicação da mistura de EME no pavimento de vias urbanas resultou em um ganho significativo de vida útil da estrutura, comprovando sua eficiência e capacidade de prolongar a durabilidade da superfície. Além disso, a possibilidade da diminuição da espessura da camada asfáltica, conforme verificado através do novo fator redutor “K” calculado representa uma vantagem adicional, que contribui para a redução de custos e possibilidade de aplicação em locais que possui interferências externas. Por estas razões, é possível afirmar que a mistura de EME é uma alternativa viável e aconselhável para ser adotada em projetos de pavimentação de vias urbanas com alto tráfego.

AGRADECIMENTOS

O desenvolvimento deste trabalho só foi possível devido ao empenho da Concessionária de Rodovias EixoSP em incentivar a execução de segmentos experimentais para avaliação de novas alternativas para emprego nas camadas do pavimento. O bom desempenho do trecho experimental verificado até o momento foi possível devido ao comprometimento dos técnicos, engenheiros e encarregados da EixoSP.



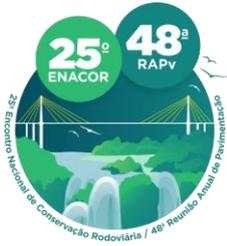
19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AASHTO - American Association of State Highway and Transportation Officials. (1993). *Guide for Design of Pavement Structures*. Washington, D.C.
- AFNOR - Association Française de Normalisation. (1993). *Préparation des Mélanges Hydrocarbonés, Partie 1: Essai d'Orniérage, NF T 98-253-1*.
- AFNOR - Association Française de Normalisation. (1993a). *Essais Relatifs aux Chaussées: Essai à la Presse à Cisaillement Giratoire (PCG), Association Française de Normalisation, NP P 98-252*.
- AFNOR - Association Française de Normalisation. (1999b). *Enrobés hydrocarbonés - Couches de roulement et couches de liaison: bétons bitumineux à module élevé (BBME), NF P 98-141*.
- ANDRADE, L., VASCONCELOS, K., & BERNUCCI, L. (2016). Avaliação do comportamento estrutural de pavimentos por meio de adoção de parâmetros de bacia deflectométrica. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (1992). *NBR 12052 – Solo ou agregado miúdo – Determinação do equivalente de areia – Método de ensaio*.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (2001). *NBR NM 51. Agregado graúdo – Ensaio de abrasão “Los Angeles”*.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (2007). *NBR 6576. Materiais asfálticos – Determinação da penetração*.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (2016). *NBR 6560. Ligantes asfálticos – Determinação do ponto de amolecimento – Método do anel e bola*.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (2017). *NBR 12583. Agregado graúdo – Determinação da adesividade ao ligante betuminoso*.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (2021). *NBR 15184. Materiais betuminosos – Determinação da viscosidade em temperaturas elevadas usando um viscosímetro rotacional*.
- ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. (2019). *ASTM D 4791 – Standard Test Method for Flat Particles, Elongated Particles, or Flat and Elongated Particles in Coarse Aggregate*.
- BROSSEAUD, Y. (2006, Novembre). *“Les Enrobés à Module Eleve: Bilan de L'expérience de Française et Transfert de Technologie”*. 70 Congrès National de la Route, Maroc.
- CAPITÃO, S. (2003). *Caracterização mecânica de misturas betuminosas de alto módulo de deformabilidade*. Tese de Doutorado, Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Coimbra, Portugal.
- CAROFF, G., & CORTÉ, J. F. (1994). *Les enrobés à module élevé. Revue Général des Routes et des Aéroports, Spécial chaussées d'autoroutes*. Paris.



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

www.rapvenacor.com.br



- CORTÉ, J.-F. (2001). *Development and uses of hard grade asphalt and of high modulus asphalt mixes in France, Transportation Research Circular: Perpetual Bituminous Pavements, Washington, DC, n. 503, p. 12-31.*
- DER - Departamento Nacional de Rodagem. (1979). *Avaliação estrutural dos pavimentos flexíveis, procedimento B DNER-PRO 11/79.*
- DNER - Departamento Nacional de Rodagem. (1979). *Avaliação estrutural dos pavimentos flexíveis, procedimento B DNER-PRO 11/79.*
- DNER - Departamento Nacional de Rodagem. (1989). *Avaliação da durabilidade pelo emprego de solução de sulfato de sódio ou de magnésio DNER ME 089/94.*
- FEE, F. (2002, May). *Extended Life Asphalt Pavement: New Approaches to Increase Durability, volume 21, No 1. Asphalt Review Online, Australian asphalt Pavement Association, AAPA.*
- KIM, Y.R., Lee, Y., RANJITHAN, S. R. (2000). *Flexible pavement condition evaluation using deflection basin parameters and dynamic finite element analysis implemented by artificial neural networks. Nondestructive Testing of Pavements and Backcalculation of Moduli., ASTM STP 1375, S. D. Tayabji and E. O. Lukanen, Eds, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA, pp. 514-530.*
- KÖPPEN, W. (1931). *Grundriss der Klimakunde, Water D E Guyter & Co. Berlin, 390p.*
- LESAGE, J. (1993). *Intéret d'un liant de faible pénétration pour structurer les corps de chaussées en construction neuve ou en entretien: mode d'évaluation en laboratoire, Vol. II, 5th Eurobitume Symposium, pp. 536-45.*
- LESAGE, J., FRIMAUX, J. P., & HIERNAUX, R. (1993, Maio). *Des couches de roulement épaisses, renforçantes et antiorniérantes, Revue Général des Routes et des Aérodomes, n° 707, RGRA, pp. 35-41.*
- VAL MELÚS, M. A. (1996, Julho-Agosto). *Contribution à la mise au point d'un nouveau matériau de construction des chaussées - L'enrobé bitumineux à haut module pour couche de base, Bulletin des Liaisons du Laboratoire des Ponts et Chaussées, No. 204, LCPC, pp. 43-52.*
- VÉRHÉE, F., & DELORME, J. (1991, Março-Abril). *Enrobés classiques et à module élevé: bilan de comportement des enrobés à module élevé, Bulletin des Liaisons, n° 172, LCPC, pp. 43-06.*
- VILLELA, A. (2012). *Estudo de camada de base asfáltica de módulo elevado para restauração de rodovias de tráfego muito pesado.* Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo.
- WSDOT - Washington State Department of Transportation. (1995). *Pavement guide for Design Evaluation and Rehabilitation.*