

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)**

**DESEMPENHO DE REVESTIMENTOS ASFÁLTICOS EM TERCEIRA FAIXA
EXECUTADOS COM LIGANTE HIMA E CAP 60/85-E: ESTUDO DE CASO DE
SEGMENTOS MONITORADOS NA SC-114**

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

Allan Monteiro Silva¹; Glicério Trichês².

RESUMO

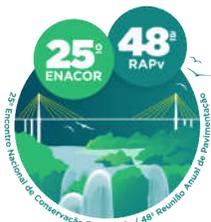
Este artigo tem como objetivo analisar o desempenho da restauração de segmento em terceira faixa da rodovia SC-114, no estado de Santa Catarina, Brasil. Esta rodovia se desenvolve em uma região de alta amplitude térmica e relevo acidentado, com rampas íngremes e longas, fazendo com que os principais defeitos recorrentes no pavimento fossem o afundamento nas trilhas de roda e o trincamento por fadiga do revestimento asfáltico. A solução de restauração foi a execução de remendos profundos, fresagem do revestimento existente e execução do revestimento asfáltico com ligante altamente modificado por polímero (HiMA). Por ser a primeira aplicação deste tipo de ligante no estado, propôs-se a execução de um trecho com ligante modificado por polímero CAP 60/85-E, a fim de comparar o desempenho de ambos. Foram realizados ensaios de deformação permanente e fadiga com amostras extraídas dos dois segmentos experimentais contíguos, de 280 metros cada, executados em uma rampa ascendente de 6%. O tráfego previsto no período de projeto ($N_{8,2t}$) era de $1,07 \times 10^7$ (USACE). A abertura ao tráfego ocorreu em janeiro de 2015. Os levantamentos resultados das avaliações funcionais e estruturais realizadas desde a abertura ao tráfego mostraram que os segmentos estavam, em maio de 2023, com 0% de área trincada e afundamento de trilha de roda entre 2 e 3 mm, indicando que o desempenho dos dois ligantes asfálticos estaria satisfatório após mais de 8 anos de abertura ao tráfego. Pode-se destacar, todavia, que a mistura com ligante HiMA apresenta melhores resultados quanto a vida de fadiga (sem indícios de fissuras em todo o trecho da rodovia) e que a mistura com ligante CAP 60/85-E apresenta menores valores de trilha de roda.

PALAVRAS-CHAVE: HiMA; Pavimento; Fadiga; Deformação permanente.

ABSTRACT

This article aims to analyze the performance of segment restoration in the third lane of the SC-114 highway in the state of Santa Catarina, Brazil. This highway traverses a region with high temperature variations and rugged terrain, characterized by steep and long slopes, which have led to recurring pavement defects such as rutting and fatigue cracking of the asphalt surface. The restoration solution consisted of deep patching, milling of the existing pavement, and the application of an asphalt surface with a highly modified asphalt (HiMA). As this was the first application of this type of binder in the state, a section was executed using a polymer-modified binder CAP 60/85-E for comparison purposes. Permanent deformation and fatigue tests were

- 1 E-VIAS Tecnologia em Infraestrutura Viária Ltda. allan@e-vias.com.br.
- 2 UNESC (Universidade do Extremo Sul Catarinense), Criciúma, Brasil. glicerio.triches@unesc.net.



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

www.rapvenacor.com.br



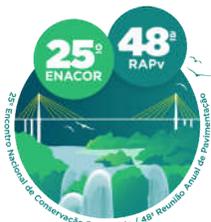
conducted on samples extracted from the two adjacent experimental segments, each measuring 280 meters, located on a 6% uphill slope. The projected design traffic ($N_{8.2t}$) was 1.07×10^7 (USACE). The opening to traffic took place in January 2015. The functional and structural evaluations conducted since the opening of the segments, as of May 2023, indicated that both segments had 0% cracked area and wheel rut depths between 2 and 3 mm, suggesting satisfactory performance of the two asphalt binders after more than 8 years of traffic exposure. It is worth noting, however, that the mixture with HiMA binder demonstrated better fatigue life (no signs of cracks throughout the highway section), while the mixture with CAP 60/85-E binder exhibited lower wheel rut values.

KEY WORDS: HiMA; Modified Binders; Fatigue; Permanent Deformation.

INTRODUÇÃO

O sistema rodoviário é o principal vetor de transporte no Brasil. As rodovias são responsáveis pelo deslocamento de 61% das cargas e 95% dos passageiros, o que torna a infraestrutura rodoviária um dos principais agentes de desenvolvimento socioeconômico do país. De toda a malha rodoviária brasileira, apenas 12,4% possui pavimento flexível ou rígido, correspondendo a 213.453 km. Deste total, aproximadamente 52,2% apresenta algum problema no pavimento (CNT, 2022). Este fato tem impactos negativos na segurança, conforto dos usuários, desgaste dos veículos, velocidade e tempo de viagem. Os dois principais defeitos observados nas rodovias brasileiras que levam à esta condição são o trincamento por fadiga e a deformação plástica que, quando alcançam elevados níveis de severidade, requerem recursos vultuosos para a sua recuperação. As condições de restrições orçamentárias têm obrigado os órgãos gestores de malha viária a buscarem alternativas de recuperação das rodovias que resultem em menor investimento, tempo de execução e, principalmente, maior desempenho e segurança para o usuário. Neste sentido, a indústria de produtos asfálticos tem disponibilizado ligantes asfálticos modificados que prometem um alto desempenho quanto aos principais defeitos dos pavimentos flexíveis. Um dos ligantes que promete excelente desempenho é o ligante altamente modificado por polímero, o *Highly Modified Asphalt* – HiMA (KRATON 2012). A utilização do ligante HiMA é pouco difundida no Brasil, por ser considerado de alto custo de aquisição e pela falta de conhecimento em relação a sua real capacidade de desempenho. Desta forma, para que a aplicação deste, e outros novos produtos, seja feita de forma científica e econômica, é necessário promover a investigação do desempenho destes materiais através de ensaios de laboratório e conjuntamente com a execução de segmentos experimentais que devem ser monitorados de forma sistemática para que subsidiem a obtenção de funções transferência campo e laboratório para desenvolvimento e calibração de métodos de dimensionamento de restauração de pavimentos.

O trecho está localizado na Rodovia SC-114, que liga os municípios de Paineira e São Joaquim. É o primeiro segmento rodoviário do Estado de Santa Catarina a utilizar a tecnologia de ligante altamente modificado por polímero, HiMA, para a restauração do pavimento. Nesta rodovia, além da restauração completa, foram selecionados 2 segmentos para acompanhamento e monitoramento do comportamento em campo, sendo um equivalente a solução de restauração com o ligante HiMA e outro utilizando a mesma solução, porém adotando o ligante SBS 60/85-E (o qual se tem especificação brasileira), com o objetivo de comparar o desempenho das duas misturas asfálticas, principalmente em relação à deformação permanente e ao trincamento por fadiga do pavimento.



19 a 22 de Setembro de 2023

Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



MATERIAIS E MÉTODOS

Em meados de 2015, o antigo Departamento de Infraestrutura do Estado de Santa Catarina – DEINFRA (atual Secretaria de Infraestrutura e Mobilidade - SIE), deu início a reabilitação do pavimento da Rodovia SC-114, no trecho entre os municípios de Paniel e São Joaquim, com extensão de 52 km. A solução adotada para a restauração do pavimento compreendeu a fresagem da camada de revestimento asfáltico antigo, execução de duas camadas de mistura asfáltica, uma com 2,0 cm de espessura, com faixa granulométrica de *stress absorbing membrane interlayer* - SAMI, teor de 6,5% de ligante HiMA, e a outra com 4,0 cm de espessura como camada de rolamento com a faixa granulométrica VI do DEINFRA, teor de 6,0% de ligante HiMA. Devido a literatura a respeito deste ligante, à época, não apresentar muitas referências, surgiu a ideia de avaliar e comparar o desempenho da mistura asfáltica com esse ligante e outra com um ligante também modificado já empregado no Brasil e presente na especificação brasileira – o CAP SBS 60/85-E. A comparação do desempenho destas misturas seria com a execução de 2 segmentos experimentais. Para evitar a interferência da granulometria e do teor de ligante, optou-se por mantê-los constantes, assim as misturas asfálticas com a faixa SAMI teriam igual teor de 6,5% para os dois ligantes e o mesmo aconteceria para as misturas asfálticas com a faixa VI, mantendo 6,0% de teor. Os dois segmentos experimentais estão dispostos em campo conforme apresenta a Tabela 1.

Tabela 1. Coordenadas dos segmentos experimentais (SILVA, 2018).

Descrição		Coordenadas	
Local	Km	Latitude	Longitude
Início segmento experimental SBS-6,0%	270+640	28° 3' 36.72"S	50° 4' 25.38"O
Fim SBS-6,0%	270+920	28° 3' 45.69"S	50° 4' 24.17"O
Início segmento experimental HiMA-6,0%	271+200	28° 3' 54.76"S	50° 4' 23.64"O
Fim HiMA-6,0%	271+480	28° 4' 4.00"S	50° 4' 24.00"O

A localização e identificação dos segmentos experimentais teve por objetivo a possibilidade de acompanhamento e controle ao longo do tempo do desempenho destes materiais. Os segmentos experimentais estão inseridos na Rodovia SC-114 que cruza a serra catarinense, entre os municípios de São Joaquim e Paniel, possuem 280,00 m de extensão cada um, totalizando 560,00 m, em duas pistas de sentido único e aclive de 6,0%, compreendidos em um segmento com faixa adicional. Os trechos estão dispostos, sequencialmente, sendo os segmentos experimentais denominados de SBS-6,0% e HiMA-6,0%, sendo as siglas dadas em função do tipo de ligante e o teor de ligante da mistura asfáltica empregada.

O subleito e as espessuras das camadas que compõem a estrutura do pavimento existente foram obtidos através da abertura de janela de inspeção na fase de projeto. A Figura 1 apresenta o perfil da estrutura existente no local de execução dos segmentos experimentais.

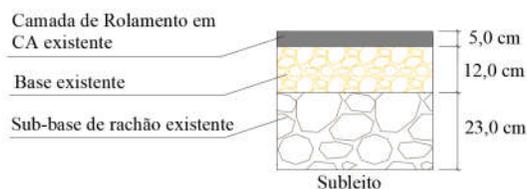


Figura 1. Perfil da estrutura existente.

Fonte: Silva (2018).



19 a 22 de Setembro de 2023

Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



As deflexões do pavimento existente foram obtidas do projeto de reabilitação da rodovia. As deflexões foram obtidas através do equipamento *Falling Weight Deflectometer* - FWD e posteriormente convertidas para deflexões com viga Benkelman pelo modelo proposto por Borges (2001), para estrutura do Tipo I. A Tabela 2 apresenta o resumo dos parâmetros deflectométricos.

Tabela 2. Resumo dos parâmetros deflectométricos (SILVA, 2018).

Deflexões ($\times 10^{-2}$ mm) FWD			Deflexões viga Benkelman
Média	Desvio padrão	Característica	Característica
38	8	46	54

A determinação do número de solicitações previstas ($N_{8,2tf}$) deu-se a partir da contagem volumétrica de tráfego e posterior aplicação da metodologia contida na Instrução de Serviço DER IS-02/98.

O horizonte de projeto previa a abertura ao tráfego no ano de 2015 e período de projeto de 10 anos. A Tabela 3. apresenta o valor de $N_{8,2tf}$ para as metodologias AASHTO e USACE.

Tabela 3. Número N previsto para 2024 (ENGEVIX, 2012).

Metodologia	Número (N)
AASHTO	$3,53 \times 10^6$
USACE	$1,07 \times 10^7$

A solução de restauração do pavimento originalmente desenvolvida pela empresa projetista contemplava a reciclagem profunda do revestimento e da base com adição de cimento.

Em meados de 2014 a empresa vencedora do contrato para a execução da reabilitação do pavimento apresentou ao DEINFRA um estudo para substituição do projeto original de restauração contemplando a utilização de misturas asfálticas com o ligante altamente modificado, o HiMA, e o seguinte procedimento:

- Fresagem do revestimento antigo, com espessura variável entre 5,0 e 7,0cm, sem atingir a camada de base para manter sua estabilidade e condições de compactação;
- Camada de SAMI, com CAP HiMA, com espessura de 2,0 cm;
- Camada de rolamento, com CAP HiMA, com espessura de 4,0 cm.

A Figura 2 mostra a estrutura dos dois segmentos experimentais.

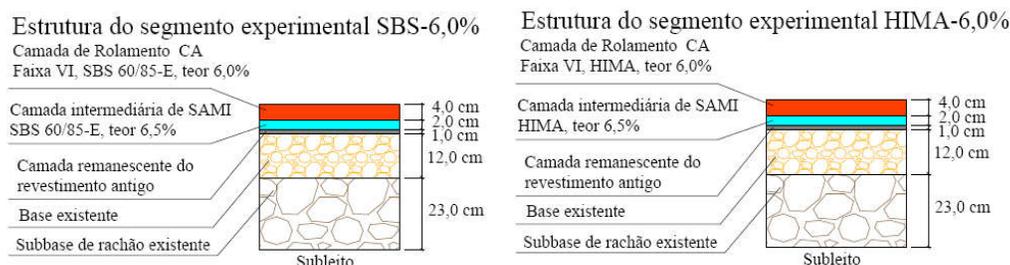
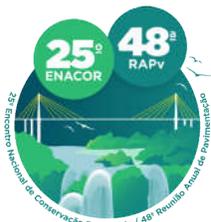


Figura 2. Perfil das estruturas dos segmentos experimentais.

Fonte: Silva (2018).



19 a 22 de Setembro de 2023

Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



O comportamento à fadiga das misturas asfálticas empregadas foi avaliado em laboratório com emprego do equipamento de flexão em viga de quatro pontos e para avaliação da resistência à deformação permanente, utilizou-se o equipamento *Orniéreur*, ambos ilustrados na Figura 3.



Figura 3. Equipamentos para ensaio de fadiga (flexão em 4 pontos) e deformação permanente (*Orniéreur*).
Fonte: Silva (2018).

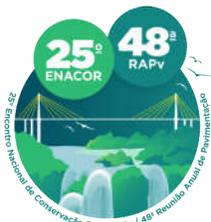
Os corpos de prova ensaiados foram serrados de placas extraídas das pistas experimentais, como ilustrado na Figura 4.



Figura 4. Extração de placas de concreto asfáltico no trecho experimental.
Fonte: Silva (2018).

Para a realização dos ensaios de fadiga, seguiu-se as recomendações da EN 12697-24 (2004) a respeito do critério de fadiga, sendo definido como 50% do módulo de rigidez inicial que é considerado a partir do centésimo ciclo de aplicação de carga devido à uma acomodação inicial do corpo de prova, o ensaio foi executado à deformação controlada com a condição de temperatura em 20°C e frequência de 10 Hz.

Os ensaios de deformação permanente foram conduzidos seguindo as recomendações da norma francesa NF P98-253-1 (1991), com os corpos de prova, extraídos dos segmentos experimentais e posteriormente serrados nas dimensões de 180x500x50mm. O ensaio foi realizado após um período de condicionamento de 12 horas na temperatura de 60 °C, mediu-se a evolução percentual do afundamento em relação à espessura do corpo de prova até a aplicação de 30.000 ciclos. A estimativa da vida útil dos segmentos monitorados teve a finalidade de prever o número de solicitações do eixo padrão de 8,2 tf necessárias para que ocorra a ruptura por fadiga do revestimento asfáltico. As simulações numéricas desta etapa foram conduzidas com auxílio do *software ViscoRoute*. O *software* considera o comportamento viscoelástico das misturas asfálticas através dos parâmetros reológicos do modelo de *Huet-Sayegh*. As deformações de tração obtidas foram aplicadas nas curvas de desempenho a fadiga das misturas HiMA-6,0% e SBS-6,0% para comparar com o número $N_{8,2tf}$, obtido do Projeto de Reabilitação da Rodovia SC-114.



19 a 22 de Setembro de 2023

Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



O objetivo do monitoramento foi acompanhar a evolução do dano causado pelo tráfego e pelo clima da região. Para isso, foram obtidas as deflexões da camada de rolamento com a viga Benkelman e executado levantamento das condições de superfície inicial.

Em setembro de 2019, realizou-se o levantamento do afundamento de trilha de roda – ATR, e do inventário de defeitos de superfície, correspondente a 50 meses após a abertura ao tráfego. A figura 5 apresenta o aspecto dos segmentos experimentais em 2019.



Figura 5. Levantamento em 2019 do afundamento de trilha de roda.

Fonte: Delavy (2021).

Em outubro de 2020, como parte da continuidade do monitoramento, foi realizado outro levantamento do afundamento de trilha de roda ATR e inventário de defeitos da superfície revestimento, correspondente a 62 meses após a abertura ao tráfego (DELAVY, 2021).

Em maio de 2023, fez-se uma nova inspeção do pavimento avaliando-se as condições da superfície do pavimento. A Figura 6 apresenta o aspecto atual dos segmentos experimentais.



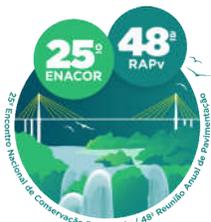
Figura 6. Aspecto atual dos segmentos experimentais.

Fonte: Autores (2023).

RESULTADOS

Composição das misturas

A concepção da comparação entre as misturas estudadas seguiu alguns princípios de igualdade entre estas. Considerou-se a equidade entre alguns parâmetros de execução dos segmentos experimentais e na composição das misturas asfálticas. A principal diferença nas



19 a 22 de Setembro de 2023

Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



misturas estudadas foi o tipo de ligante asfáltico. Os ligantes empregados nesta pesquisa foram o HiMA e o CAP 60/85-E. Na Tabela 4 estão as principais diferenças entre eles.

Tabela 4. Resumo das principais diferenças dos ligantes (COMPASA, 2015).

Ligante asfáltico	Ponto de amolecimento (°C)	Recuperação elástica 25 °C (%)
HiMA	86,0	96,0
CAP 60/85-E	63,0	87,0

Os resultados contidos na Tabela 4 mostram que o ligante HiMA possui mais capacidade de recuperação elástica e seu ponto de amolecimento é mais elevado que o ligante CAP 60/85-E. A adição dos polímeros na matriz asfáltica, em especial o polímero D-0243 no CAP HiMA que confere maior capacidade elástica ao ligante asfáltico, é evidenciada pela recuperação elástica de 96,0% (SCHOLTEN *et. al.* 2011). A recuperação elástica apresentada por estes dois ligantes sugere um bom desempenho à fadiga das misturas asfálticas. O ponto de amolecimento destes ligantes indica uma menor suscetibilidade térmica em relação às temperaturas usualmente atingidas pela superfície do pavimento em um dia ensolarado.

Desempenho à fadiga

A avaliação do comportamento à fadiga das misturas asfálticas deste estudo, bem como a comparação entre estas foi possível devido à realização do ensaio de fadiga no equipamento de flexão alternada em viga de quatro pontos. Na Figura 7 estão reproduzidas as curvas de fadiga para cada mistura empregada.

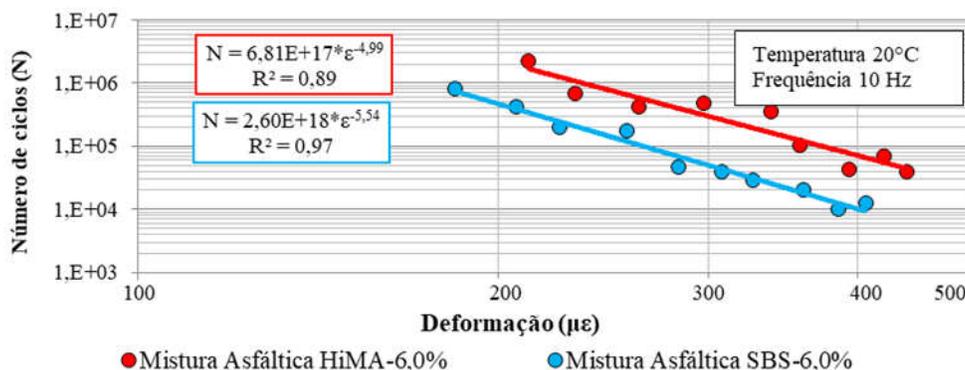


Figura 7. Comparativo das curvas de fadiga das 2 misturas.

Fonte: Silva (2018).

A resistência à fadiga é propriedade de interesse quando se trata de mistura asfáltica empregada na pavimentação rodoviária. A mistura HiMA-6,0% apresentou resultados elevados de resistência à fadiga quando comparada com a mistura SBS-6,0%. Atribui-se estes resultados ao ligante HiMA, que possui recuperação elástica mínima de 95,0%, ao encontro do que demonstraram Kraton (2012), Martins (2014), Błażejowski *et. al.* (2015) e Klutz *et al.* (2016). Em níveis de deformação considerados baixos, como 50 $\mu\epsilon$, a mistura HiMA-6,0% é capaz de suportar 2,25 vezes mais números de ciclos que a mistura SBS-6,0%. Conforme o nível de deformação aumenta esta diferença cresce ainda mais, com 150 $\mu\epsilon$ (micro deformação), a mistura HiMA-6,0% é capaz de suportar 4,12 vezes mais ciclos que a mistura SBS-6,0%. É evidente que há um melhor desempenho da mistura com o ligante HiMA, mas face a iteração da mistura asfáltica na estrutura do pavimento,



19 a 22 de Setembro de 2023

Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



é necessário que simulações de desempenho sejam feitas para a correta interpretação destes resultados acompanhadas de monitoramento de campo.

Desempenho à deformação permanente

As misturas asfálticas podem sofrer deformações plásticas pela ação do carregamento em maior ou menor grau devido à variação da temperatura e frequência em função de suas características termoviscoelásticas e devido aos materiais que a compõem. A Figura 8 apresenta os resultados do afundamento, obtidos para cada mistura asfáltica dos segmentos experimentais onde é possível comparar o desempenho (SILVA, 2018). Em termos de nível da deformação plástica ocorrida, todas as misturas apresentaram desempenho satisfatório ao limite de 10% de afundamento proposto na especificação francesa para 30.000 ciclos (LCPC, 2007). A mistura HiMA-6,0% apresentou acomodação inicial maior que a mistura com SBS-6,0%, que se refletiu ao longo do restante do ensaio.

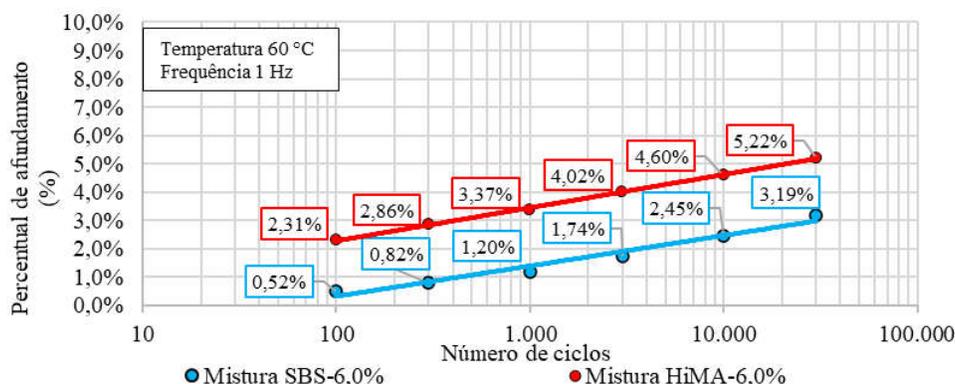


Figura 8. Evolução da deformação permanente das misturas asfálticas.

Fonte: Silva (2018).

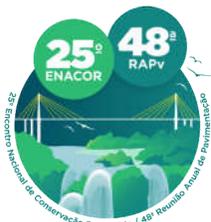
Vida útil dos segmentos experimentais

O comportamento reológico das misturas asfálticas deste estudo demonstrou a possibilidade de bom desempenho quanto à fadiga, porém é necessário verificar o nível de deformação de tração que atua na fibra inferior das camadas asfálticas. Este nível de deformação ($\mu\epsilon$) pode ser previsto através de simulação numérica.

As simulações numéricas foram realizadas com auxílio do software ViscoRoute 2.0, desenvolvido pelo LCPC (2007). Para efeito de comparação, considerou-se que as curvas de desempenho obtidas em laboratório equivalem ao desempenho real das misturas asfálticas em campo, ou seja, fator campo-laboratório igual a 1. A Tabela 5 apresenta a estimativa da vida útil das misturas asfálticas para esta condição estrutural e de carregamento.

Tabela 5. Desempenho à fadiga das misturas asfálticas (SILVA, 2018).

Mistura asfáltica	Deformação ($\mu\epsilon$)	Curva de fadiga	Número N
HiMA-6,0%	98	$N=6,81 \times 10^{17} * \epsilon^{-4,99}$	$7,89 \times 10^7$
SBS-6,0%	99	$N=2,60 \times 10^{18} * \epsilon^{-5,54}$	$2,28 \times 10^7$



19 a 22 de Setembro de 2023

Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



O nível de deformação aplicado na curva de desempenho demonstrou capacidade superior da resistência à fadiga da mistura HiMA-6,0% em cerca de 3,4 vezes comparada com a mistura SBS-6,0%, o que corrobora com os resultados de desempenho obtidos por Scholten *et al.* (2011), Klutz *et al.* (2016) e Klinsky *et al.* (2015). Em relação ao número $N_{8,2tf}$, obtido do Projeto de Reabilitação da Rodovia SC-114, determinado pela metodologia USACE, cujo valor é $1,07 \times 10^7$, e considerando-se, neste momento, o fator campo laboratório igual a 1, a mistura HiMA-6,0% seria cerca de 7,37 vezes mais resistente à fadiga enquanto que a mistura SBS-6,0% cerca de 2,13 vezes mais resistente em relação ao número de ciclos previsto até o décimo ano.

Monitoramento dos segmentos experimentais ao longo do tempo

No que se refere ao acompanhamento deflectométrico, executou-se o levantamento da deflexão com a viga Benkelman, a cada 20 m, na abertura da rodovia ao tráfego e após um ano a abertura. Os segmentos experimentais encontram-se dentro no final de um trecho em rampa de 6%, com cerca de 4 km de extensão e com faixa adicional. Por esta razão, tem-se nos segmentos 2 faixas de tráfego, sendo a faixa da esquerda destinada ao tráfego pesado. Todas as leituras foram obtidas no trilho externo das faixas. Na Tabela 6 é possível comparar a evolução das deflexões nos dois segmentos experimentais com um período de 11 meses de abertura ao tráfego.

Tabela 6. Resumo das deflexões características dos segmentos experimentais ($\times 10^{-2}$ mm) (SILVA, 2018).

Segmento	Período inicial (jan./2016)		11 meses (nov.2016)	
	Pista Esquerda	Pista Direita	Pista Esquerda	Pista Direita
SBS-6,0%	35,3	50,8	34,4	52,8
HiMA-6,0%	39,9	40,4	38,7	35,9

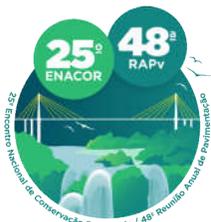
A deflexão característica obtida para cada segmento nos meses de janeiro de 2016 e novembro de 2016, são muito semelhantes e não configuram evolução de dano estrutural. Apesar da pista esquerda ser aquela considerada prioritária para o trânsito de veículos pesados e por consequência ser a pista que sofre maiores níveis de carregamento, é esta que apresenta os menores valores de deflexão característica desde a abertura ao tráfego, indicando estabilidade estrutural.

Em 2019 e 2020 foram realizados levantamentos da trilha de roda externa -TRE, da terceira faixa dos dois segmentos monitorados. Os resultados obtidos de afundamento, em 2019, mostram que independente do ligante, HiMA ou SBS, o afundamento de trilha de roda não ultrapassa os 3 mm, ficando na maioria dos pontos avaliados, com valor de 1 mm. Na Tabela 7 estão apresentados os valores de média e desvio padrão de afundamento da trilha de roda externa, para ambos segmentos verificados em 2019.

Tabela 7. Média e desvio padrão de afundamento da trilha de roda (mm) em 2019 (DELAVY, 2021).

Segmento	Média	Desvio Padrão
HiMA-6,0%	0,800	0,775
SBS-6,0%	1,133	0,640

Nos dados da Tabela 7 pode-se observar que o valor da TRE média do segmento com HiMA é menor, porém o valor do desvio padrão é ligeiramente maior, indicando uma menor uniformidade dos dados. De maneira geral, o ligante SBS apresenta os menores valores individuais



19 a 22 de Setembro de 2023

Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



de afundamento, sendo 1 mm pra todos os locais, com exceção à estaca 270+700, que apresenta 3 mm de ATR.

Em 2020, uma nova verificação do afundamento no trilho de roda foi realizada. Os resultados estão apresentados na Tabela 8.

Tabela 8. Média e desvio padrão do ATR (mm) em 2020 (DELAVY, 2021).

Segmento	Média	Desvio Padrão
HiMA-6,0%	2,567	0,842
SBS-6,0%	2,300	0,775

Os dois segmentos apresentam aproximadamente 80% dos valores de ATR entre 2 mm a 4 mm. O segmento HiMA apresenta apenas uma estaca com valores acima de 4 mm, porém nenhum dos dois segmentos ultrapassa o valor de 12 mm de afundamento de trilha de roda que é o nível recomendado pelo DNIT (2006) para realização de intervenção de correção.

No levantamento de defeitos foi realizado em 2020 e também na inspeção realizada em maio de 2023, os segmentos encontravam-se em perfeito estado, não apresentando trincas ou fissuras. Na Figura 8 e na Figura 9 é possível observar que o pavimento não possui nenhum defeito de superfície, mesmo com mais da metade de sua vida de serviço, não sendo observado nenhuma trinca ao longo de ambos segmentos.

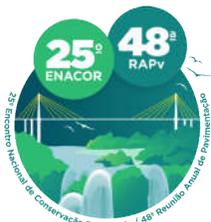


Figura 9. Aspecto dos segmentos experimentais.
Fonte: Delavy (2021).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As previsões de alto desempenho, prenunciadas pela literatura, para misturas asfálticas que utilizam o ligante HiMA confirmaram-se também neste estudo. O ensaio de fadiga demonstrou que as 2 misturas podem ser consideradas de alto desempenho. O ensaio no simulador de tráfego francês demonstrou o melhor desempenho a deformação permanente para a mistura SBS-6,0%, seguida pela mistura HiMA-6,0%, ao contrário do desempenho à fadiga. O número de variáveis envolvidas torna de difícil tarefa correlacionar o desempenho a apenas um parâmetro reológico ou físico, sendo mais correto o entendimento de que a combinação de variáveis influencia no desempenho à deformação plástica.

A execução dos segmentos experimentais e o seu monitoramento está sendo de extrema valia para o comparativo de vida útil das misturas asfálticas HiMA-6,0% e SBS-6,0% e demonstrar o quanto vantajoso pode ser a utilização de misturas asfálticas de alto desempenho para obras de restauração rodoviária, desde que dimensionadas de forma racional.



19 a 22 de Setembro de 2023

Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



Em relação às condições funcionais do pavimento, ao longo dos 8 anos de abertura ao tráfego houve avaliação em 2017, em 2019, 2020, 2021 e inspeção em 2023, não tendo sido observada a presença de qualquer área trincada no pavimento, evidenciando que os segmentos seguem adequados para a situação de dimensionamento.

O afundamento de trilha de roda médio do segmento HiMA é de 2,5mm e do SBS é de 2,3mm, ambos muito abaixo dos limites estabelecidos em norma. Em nenhum ponto foi encontrado afundamento maior que 4mm. O desempenho dos segmentos em relação ao afundamento de trilha de roda que era o principal defeito recorrente devido ao elevado aclave acentuado das rampas e às elevadas temperaturas durante o verão é satisfatório e está atendendo à demanda do Estado.

Os resultados do desempenho em campo, demonstram uma porcentagem nula de área trincada. De um modo geral, os dois segmentos apresentaram bom desempenho quanto a fadiga e deformação permanente. Entretanto, o segmento HiMA apresentou melhores resultados na estimativa de vida útil e o segmento SBS apresentou uma média menor de afundamento de trilha de roda. De acordo com os resultados obtidos até o momento acredita-se que os dois segmentos irão atingir a vida de serviço sem comprometimento estrutural e sem trincamento evidenciando a economicidade que o Estado poderá obter na manutenção deste trecho, em decorrência do emprego de ligante altamente modificado na sua restauração.

Uma vez que os segmentos não apresentaram porcentagem de área trincada até o presente momento, ainda não é possível determinar um fator campo/laboratório. Por isso, recomenda-se a continuação do monitoramento destes segmentos até o fim do período de projeto e, eventualmente, até o final da vida útil para verificar o comportamento da estrutura para então se estabelecer uma função transferência campo laboratório.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Rede de Tecnologia do Asfalto pelos investimentos em infraestrutura realizados no Laboratório de Pavimentação da UFSC e ao Deinfra/SC (atual SEI) pela possibilidade da realização desta pesquisa na SC 114.

REFERÊNCIAS

ASSOCIATION FRANÇAISE DE NORMALISATION. AFNOR NF P 98-253 –1. **Essais relatifs aux chaussées. Déformation permanente des mélanges hydrocarbonés. Partie 1: Essai d'orniérage.** France, 1991.

BARBER, E. S. **Calculation of maximum pavement temperatures from weather reports.** Boletim nº 168, HRB, 1957.

BLĄŻEJOWSKI, K.; OLSZACKI, J.; PECIAKOWSKI, H. **Highly modified binders orbiton HiMA.** Version 1e., 2015.

BORGES, C. B. S. **Estudo comparativo entre medidas de deflexão com Viga Benkelman e FWD em pavimentos da malha rodoviária estadual de Santa Catarina.** Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. Brasil, 2001.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES. **Pesquisa CNT de rodovias 2021: Anuário CNT do Transporte. Estatísticas consolidadas.** Brasília, 2021.

COMPASA. **Certificado de Controle de Qualidade.** Curitiba, 2015.

DELAVY, F. S. **Desempenho de revestimento em terceira faixa executados com ligante HiMA e SBS: estudo de caso de segmentos monitorados na SC-114.** Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2021.



19 a 22 de Setembro de 2023

Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



DEPARTAMENTO DE ESTRADAS E RODAGEM DE SANTA CATARINA. DER. **Instrução de serviço IS-02 Estudo de tráfego**. Florianópolis, Brasil, 1998.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. DNIT. **Manual de restauração de pavimentos asfálticos**. Rio de Janeiro, 2006.

ENGEVIX. **Projeto de reabilitação da SC-114, trecho Painel-São Joaquim. Projeto Final de Engenharia Parte 2: Projeto Executivo**. Vol.1. Florianópolis, Brasil, 2012.

EUROPEAN STANDARD EN 12697-24 (2004) **Bituminous mixtures - Test methods for hot mix asphalt Part 24: Stiffness**, 2004.

KLINSKY, L. M. G.; FARIA, V.C; BARELLA, R. **Determinação da Resistência à Fadiga de Misturas Asfálticas a partir de dois métodos de ensaio com diferentes tipos de asfalto**. Relatório CCR-ND-FAD- RTF, 2015.

KLUTZ, R. Q.; DONGRÉ, R.; POWELL, R. B.; WILLIS, J. R.; TIMM, D. H. **Long term performance of a highly modified asphalt pavement and application to perpetual pavement design**. 6th Eurasphalt & Eurobitume Congress. Prague, Czech Republic, 2016.

KRATON. **Highly modified asphalt (HiMA) next generation in asphalt pavement design**. 2012.

LABORATOIRE CENTRAL DES PONTS ET CHAUSSÉES. LCPC. **Manuel LPC d'aide à la formulation des enrobés à chaud. Groupe de travail RST Formulation des enrobés à chaud**. France, 2007.

MARTINS, A. T. **Contribuição para a validação do ensaio de resistência ao dano por fadiga para ligantes asfálticos**. 114 f. Dissertação. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

SCHOLTEN, E. J.; TIMM, D. H.; WILLIS, J. R.; POWELL, R. B.; KLUTTZ, R. Q.; VONK, W. C. **Accelerated loading test results of two NCAT sections with highly modified asphalt**. 14th International Flexible Pavements Conference. Sydney, Australia, 2011.

SILVA, A. M. **Avaliação do desempenho mecânico de misturas asfálticas projetadas com CAP HiMA e CAP 60/85-E Aplicadas na restauração de um trecho da rodovia SC-114**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018.