



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)

PREDIÇÃO DE DESEMPENHO À DEFORMAÇÃO PERMANENTE DE ASFALTO MODIFICADO POR SBS ATRAVÉS DE ENSAIOS REOLÓGICOS

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

Yuri Mello Müller de Oliveira¹; Poliana Tonieto Cittadella¹; Luciana Rohde¹; Liseane Padilha Thives¹

RESUMO

A previsão de desempenho de misturas asfálticas em campo como camadas de revestimento a partir da avaliação das propriedades dos asfaltos é complexa. Neste sentido, o emprego de ensaios que possam aferir de forma mais fidedigna o comportamento desse material se torna necessário. Ensaios reológicos foram introduzidos na especificação norte-americana e parâmetros de desempenho quanto à deformação permanente são considerados na classificação. Por outro lado, como os parâmetros de predição estabelecidos apresentaram limitações relativas ao desempenho de asfaltos modificados. Quanto à deformação permanente, o ensaio de Fluência e Recuperação sob Múltipla Tensão (MSCR) foi introduzido para melhor aferir o comportamento. Este estudo tem como objetivo avaliar um asfalto brasileiro modificado por estireno-butadieno-estireno, classificado como SBS 65/90 por meio do ensaio MSRC e contribuir com o banco de dados de caracterização de asfaltos no país. A metodologia consistiu na realização de ensaios de caracterização e reológicos para determinação do grau de desempenho (PG) a alta temperatura e MSCR. Um asfalto convencional classificado por penetração, CAP 50/70 foi igualmente testado para comparação. Os resultados obtidos mostraram que em alta temperatura, o CAP 50/70 resultou num PG 58-XX, o SBS 65/90 em PG 70-XX e, PG contínuo de 62,7°C e 75,2°C, respectivamente. A predição de comportamento à deformação permanente, avaliada no MSCR na alta temperatura (PG), indicou que, em relação ao CAP 50/70, o asfalto modificado resultou desempenho significativamente superior, podendo ser aplicado em condições de tráfego extrapesado e elevada temperatura.

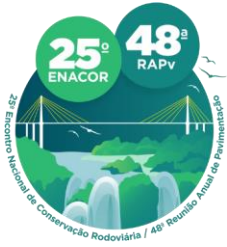
PALAVRAS-CHAVE: desempenho; asfaltos; SBS; reologia.

ABSTRACT

Predicting the performance of asphalt mixtures as field surface layers based on asphalt properties evaluation is complex. Thus, implementing tests that can more reliably assess the performance of this material becomes necessary. Rheological tests were introduced in the North American specification, and performance parameters regarding permanent deformation are considered in the classification. On the other hand, the established prediction parameters presented limitations related to the performance of modified asphalts. As for permanent deformation, the test Multiple Stress Creep Recovery (MSCR) was introduced to better assess the behavior. This study aims to evaluate a Brazilian asphalt modified by styrene-butadiene-styrene, classified as SBS 65/90, through the MSRC test and to contribute to the database characterizing asphalts in the country. The methodology consisted of performing characterization and rheological tests to determine the performance grade (PG) at high temperatures and MSCR. A conventional asphalt classified by penetration, CAP 50/70, was also tested for comparison. The results showed that at high temperatures, the CAP 50/70 resulted in a PG 58-XX, SBS 65/90 in a PG 70-XX and a continuous PG of 62.7°C and 75.2°C, respectively. The permanent deformation prediction performance, evaluated in the MSCR at high temperature (PG), indicated that concerning CAP 50/70, the modified asphalt resulted in significantly better performance, being able to be applied in conditions of extra-heavy traffic and high temperature.

KEY WORDS: performance; asphalts; SBS; rheology.

¹ Universidade Federal de Santa Catarina, e-mail: yurimello@hotmail.com; poliana.tonieto@posgrad.ufsc.br; lrohde@ufsc.br; liseane.thives@ufsc.br



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

www.rapvenacor.com.br



INTRODUÇÃO

A aplicação de misturas asfálticas a quente como camadas de revestimento e ligação em pavimentos flexíveis é amplamente utilizada no Brasil e no mundo. O asfalto, considerado o principal componente das misturas, tem sido foco do desenvolvimento de pesquisas que promovam sua caracterização de forma adequada, uma vez que tem influência direta no seu desempenho em campo. Estudos e pesquisas brasileiras evidenciaram que uma parcela dos defeitos precoces que ocorrem nos revestimentos pode estar relacionada à especificação e tipo de asfalto usado sem levar em consideração as condições climáticas, tipo e intensidade do tráfego da região na qual o pavimento será implantado. Na especificação por penetração, por exemplo, o parâmetro empírico de classificação não tem correlação direta com o desempenho à fadiga e deformação permanente (MARTINS, 2014; VASCONCELOS *et al.*, 2017).

A especificação norte-americana *Superior Performing Asphalt Pavements* (SUPERPAVE), conforme a norma ASTM D6373 (ASTM 2021), classifica os asfaltos de acordo com o grau de desempenho (PG – Performance Grade), como PG YY-XX, de modo que as designações de classificação estão relacionadas à média de máxima temperatura (YY) e à mínima (XX) de projeto de pavimento da região onde estará localizado.

Quanto à predição à fadiga e deformação permanente, a especificação SUPERPAVE preconiza a realização de ensaios reológicos, realizados no reômetro de cisalhamento dinâmico (DSR), para medir o módulo de cisalhamento complexo (G^*) e ângulo de fase (δ). Com base na dissipação de energia a especificação SUPERPAVE estabeleceu limites do parâmetro reológico $G^*/\text{sen}\delta$ para deformação permanente, medido na alta temperatura de especificação para amostras virgens e envelhecidas a curto prazo (ASTM D6373, 2021).

Zeiada *et al.* (2021) afirmaram que os parâmetros de predição de comportamento da especificação SUPERPAVE representam uma primeira tentativa em relacionar as propriedades físicas dos asfaltos convencionais ao desempenho das misturas asfálticas em campo. No entanto, estudos posteriores mostraram correlações insuficientes entre a predição do asfalto pelos parâmetros (fadiga e deformação permanente) e o comportamento mecânico das misturas, sendo especialmente para os asfaltos modificados (DEACON *et al.*, 1997; BAHIA *et al.*, 2001; FONTES, 2009; OLIVEIRA *et al.*, 2020).

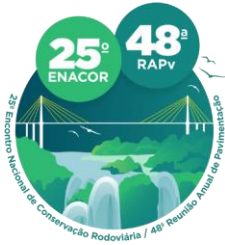
Considerando que a predição de comportamento dos asfaltos, pelos parâmetros SUPERPAVE, nem sempre ter se mostrado assertiva e, com o objetivo de aferir a efetiva contribuição dos modificadores na predição quanto à deformação permanente, foi desenvolvido o ensaio de fluência e recuperação sob múltipla tensão (MSCR – *Multiple Stress Creep Recovery*).

O ensaio é realizado no DSR com aplicação de ciclos de carregamento e períodos de repouso em dois diferentes níveis de tensão. A cada ciclo é medida a compliância não recuperável (J_{nr}), que representa a deformação plástica do material e o percentual de recuperação elástica (R) (AASHTO, 2018).

Pesquisas confirmaram que o MSCR tem sido adequado para prever a resistência à deformação permanente dos asfaltos e forte correlação com o desempenho das misturas asfálticas testadas em laboratório e em pistas testes (LIU *et al.*, 2020; ZEIADA *et al.*, 2021).

O uso de asfaltos modificados propiciou a melhoria do desempenho das misturas asfálticas em relação aos convencionais. Um dos polímeros utilizados na modificação é o estireno-butadieno-estireno (SBS).

A viscosidade do SBS a altas temperaturas é um aspecto favorável quando se procede a modificação do asfalto, por não promover um aumento significativo da viscosidade após a incorporação do



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



polímero ao asfalto e ainda, apresenta propriedades reológicas superiores em relação ao asfalto convencional (LEITE, 1999).

Bastos *et al.* (2015) compararam 3 tipos de ligantes: puro, modificado com 4,5 de SBS; modificado com 2,5 de SBS e 2,5 de argilas organofílicas. Os resultados apresentaram maior desempenho nos ligantes modificados, através do aumento nos percentuais de R e reduções no J_{nr} nas temperaturas e tensões controladas.

Marcon (2016), constatou que o asfalto modificado com SBS em comparação com um asfalto borracha resultou em um aumento do ponto de amolecimento e maior recuperação elástica, indicando um melhor desempenho à fadiga.

Wang *et al.* (2017) conduziram ensaios em asfaltos modificados por SBS. Os resultados mostraram uma melhoria quanto à resposta elástica. Por outro lado, no ensaio LAS, foi verificada “falha” em níveis de deformação mais elevados em relação ao convencional de referência.

Mazzoni *et al.* (2020) avaliaram o efeito da temperatura e do nível de envelhecimento na região viscoelástica linear por meio de ensaios reológicos no DSR. Foi feito um comparativo entre um asfalto convencional (CAP 30/45) e dois modificados por SBS, sendo estes um 60/85-E e outro altamente modificado (HiMA). Os resultados comprovaram que os asfaltos modificados foram menos suscetíveis à variação da temperatura ou a frequência de carregamento, tendo sua região viscolástica reduzida com o aumento do envelhecimento e a redução da temperatura.

Este estudo tem como objetivo avaliar, por meio do ensaio MSRC, um asfalto brasileiro modificado por estireno-butadieno-estireno (SBS) e previsão do desempenho à deformação permanente. Os resultados obtidos foram comparados aos de um asfalto convencional classificado por penetração, CAP 50/70. Espera-se contribuir com o banco de dados de caracterização de asfaltos no país.

METODOLOGIA

Neste estudo, foi estabelecido o PG de alta temperatura e avaliada a previsão de desempenho à deformação permanente do asfalto modificado por polímero elastomérico (SBS 65/90-E) por meio do parâmetro SUPERPAVE ($G^*/\text{sen}\delta$) e ensaio MSCR. O asfalto convencional CAP 50/70 foi testado para comparação. Ambos os asfaltos foram fornecidos por uma distribuidora de asfaltos do Brasil. A Figura 1 ilustra o esquema da metodologia experimental, composta por duas fases, a seguir descritas.

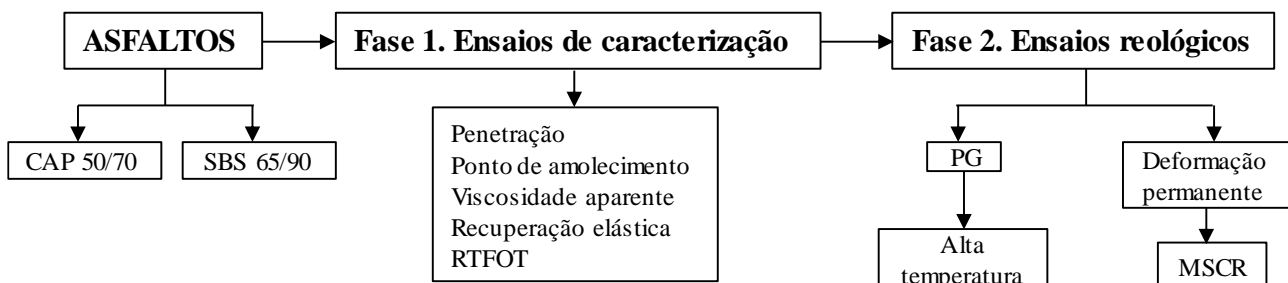
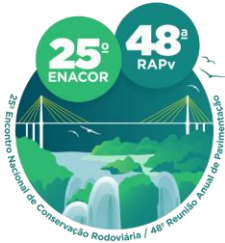


Figura 1. Esquema da metodologia experimental (AUTORES, 2022).

Na Fase 1, foram realizados os ensaios de caracterização para verificação de enquadramento aos limites estabelecidos na classificação, sendo o CAP 50/70 de acordo com a norma DNIT 095/2006 – EM (DNIT, 2006) e o modificado por SBS 65/90-E, pela norma DNIT 129/2011 – EM (DNIT, 2011). Os asfaltos foram classificados de acordo com os resultados dos seguintes ensaios: (i) penetração (NBR 6576; ABNT; 2007); (ii) ponto de amolecimento (NBR 6560; ABNT, 2016); (iii) viscosidade



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



aparente (NBR 15184; ABNT, 2021); (iv) recuperação elástica (NBR 15184; ABNT, 2022); (v) envelhecimento a curto prazo (*Rolling Thin-Film Oven Test* – RTFOT) (NBR 15235; ABNT, 2009).

A Fase 2 compreendeu a realização de ensaios reológicos. Inicialmente foram medidos os parâmetros reológicos, módulo complexo de cisalhamento (G^*) e ângulo de fase (δ), em ensaios conduzidos num reômetro de cisalhamento dinâmico (DSR), de acordo com a norma ASTM D7175 (2015). No DSR foram usados pratos de 25 mm de diâmetro com *gap* de 1 mm, e os ensaios conduzidos na frequência de 10 rad/s e varredura de temperaturas em intervalos de 6°C até a falha, ou seja, conforme os limites da especificação SUPERPAVE. Após, foi estabelecido o PG de alta temperatura dos asfaltos, de acordo com a norma ASTM D6373 (2021). De acordo com a especificação, os limites são 1,0 kPa para o parâmetro $G^*/\text{sen}\delta$ na condição virgem e de 2,2 kPa na condição de envelhecimento a curto prazo. Após o estabelecimento do PG de alta temperatura, para os dois asfaltos foi calculado o PG contínuo, de acordo com as Equações 1 e 2.

$$T_c = T_1 + \left[\frac{\log(1,0) - \log\left(\frac{G_1^*}{\text{sen}\delta_1}\right)}{\log\left(\frac{G_1^*}{\text{sen}\delta_1}\right) - \log\left(\frac{G_2^*}{\text{sen}\delta_2}\right)} \times (T_1 - T_2) \right] \quad (1)$$

$$T_c = T_1 + \left[\frac{\log(2,2) - \log\left(\frac{G_1^*}{\text{sen}\delta_1}\right)}{\log\left(\frac{G_1^*}{\text{sen}\delta_1}\right) - \log\left(\frac{G_2^*}{\text{sen}\delta_2}\right)} \times (T_1 - T_2) \right] \quad (2)$$

Em que: T_c é a temperatura crítica ou PG contínuo (°C), T_1 é a temperatura antes da falha (°C), T_2 é a temperatura após a falha (°C), G_1^* é o módulo de cisalhamento complexo antes da falha (kPa), G_2^* é o módulo complexo após a falha (kPa), δ_1 é o ângulo de fase antes da falha (°), δ_2 é o ângulo de fase após a falha (°). A “falha” corresponde ao não atendimento dos requisitos da especificação.

O ensaio MSCR foi conduzido de acordo com a norma AASHTO T 350 (AASHTO, 2019) em amostras envelhecidas a curto prazo. No ensaio MSCR, as amostras foram submetidas a ciclos de deformação por um segundo de carga seguidos de nove segundos de recuperação. Foram realizados 20 ciclos no nível de tensão de 0,1 kPa e repetidos 10 ciclos no nível de 3,2 kPa. Na configuração do ensaio foram utilizadas placas de 25 mm de diâmetro, *gap* de 1 mm. O ensaio foi conduzido em temperaturas selecionadas na avaliação do PG de alta temperatura. Os resultados foram apresentados relativos aos parâmetros J_{nr} (compliância não recuperável), percentual de recuperação (R) e percentual de diferença da compliância não-recuperável entre as duas tensões ($J_{nr-diff}$), calculado conforme Equação 3.

$$J_{nr-diff} = \frac{J_{nr3,2} - J_{nr0,1}}{J_{nr0,1}} \times 100 \quad (3)$$

Em que: $J_{nr3,2}$ e $J_{nr0,1}$ são as compliâncias não recuperáveis dos níveis de tensão de 3,2 kPa e 0,1 kPa, respectivamente.



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

www.rapvenacor.com.br



RESULTADOS

Ensaio de caracterização

Os resultados dos ensaios de caracterização correspondem à média de três amostras por ensaio e são apresentados na Tabela 1 para o CAP 50/70 e na Tabela 2 para o SBS 65/90-E. Os resultados mostraram que ambos os asfaltos atenderam os limites das especificações. Conforme esperado, o asfalto modificado SBS 65/90-E (Tabela 2) apresentou menor penetração e viscosidade aparente mais elevada que o convencional CAP 50/70 (Tabela 1). Relativamente ao ponto de amolecimento do modificado (69°C) em relação ao convencional (48°C), este poderia ser considerado um indicativo de possível melhor desempenho à deformação permanente.

Tabela 1. Resultados dos ensaios de caracterização do CAP 50/70 (AUTORES, 2022).

Ensaio	Unidade	Resultado	Limites ⁽⁵⁾
Penetração (25°C, 5s, 100g)	0,1 mm	51	50 a 70
Ponto de amolecimento ⁽¹⁾	°C	48	46 mín.
<i>Viscosidade aparente⁽²⁾</i>			
135°C, <i>sp</i> ⁽³⁾ 21, 20 rpm		286	274 mín.
150 °C, <i>sp</i> ⁽³⁾ 21, 20 rpm	cP	148	112 mín.
177 °C, <i>sp</i> ⁽³⁾ 21, 20 rpm		63	57 a 285
<i>Efeito do calor e do ar⁽⁴⁾ (163°C, 85 min.)</i>			
Variação de massa	(%)	0,11	0,5 máx.
Aumento do ponto de amolecimento	°C	3,3	8 máx.
Penetração retida	%	66	55 mín.

⁽¹⁾Método anel e bola; ⁽²⁾Viscosímetro Brookfield; ⁽³⁾*spindle*; ⁽⁴⁾*Rolling Thin-Film Oven Test*; ⁽⁵⁾DNIT 095/2006 – EM (DNIT, 2006).

Tabela 2. Resultados dos ensaios de caracterização do SBS 65/90-E (AUTORES, 2022).

Ensaio	Unidade	Resultado	Limites ⁽⁵⁾
Penetração (25°C, 5s, 100g)	0,1 mm	42	40 a 70
Ponto de amolecimento ⁽¹⁾	°C	69	65 mín.
<i>Viscosidade aparente⁽²⁾</i>			
135°C, <i>sp</i> ⁽³⁾ 21, 20 rpm		1.410	3.000 máx.
150°C, <i>sp</i> ⁽³⁾ 21, 50 rpm	cP	669	2.000 máx.
177°C, <i>sp</i> ⁽³⁾ 21, 100 rpm		245	1.000 máx.
Recuperação Elástica (25°C)	cm	92	90 mín.
<i>Efeito do calor e do ar⁽⁴⁾ (163°C, 85 min.)</i>			
Variação de massa	(%)	0,22	1 máx.
Variação do ponto de amolecimento	°C	5,1	-5 a + 7
Penetração Original	%	68	60 mín.
Recuperação Elástica (25°C)	%	97,8	80 mín.

⁽¹⁾Método anel e bola; ⁽²⁾Viscosímetro Brookfield; ⁽³⁾*spindle*; ⁽⁴⁾*Rolling Thin-Film Oven Test*; ⁽⁵⁾DNIT 129/2011 – EM (DNIT, 2011).



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



Ensaio reológicos

Os resultados dos valores do módulo complexo de cisalhamento (G^*) e ângulo de fase (δ) no DSR, (ASTM D7175, 2015) foram conduzidos nas temperaturas de 58°C a 76°C em intervalos de 6°C, como mostra a Tabela 3.

Tabela 3. Resultados dos parâmetros G^* e δ em diferentes temperaturas (AUTORES, 2022).

Temperatura (°C)	58		64		70		76	
Parâmetros	G^* (kPa)	δ (°)	G^* (kPa)	δ (°)	G^* (kPa)	δ (°)	G^* (kPa)	δ (°)
<i>Amostras virgens</i>								
CAP 50/70	1,95	86,8	0,84	86,6	0,39	86,4	-	-
SBS 65/90	5,51	65,3	3,02	64,2	1,74	63,1	1,07	60,9
<i>Amostras envelhecidas</i>								
CAP 50/70	3,72	86,3	1,62	87,4	0,74	88,2	-	-
SBS 65/90	9,60	64,3	5,29	63,3	3,09	62,4	1,87	61,5

G^* – módulo complexo de cisalhamento; δ – ângulo de fase.

De acordo com os resultados da Tabela 3, observou-se que tanto na condição virgem e envelhecida e, em todas as temperaturas, o CAP 50/70 apresentou o valor de G^* significativamente menor e de δ mais elevado, comparativamente ao SBR 65/90, indicando um comportamento mais viscoso e propensão a deformações plásticas.

Na sequência, para cada temperatura, foi calculado o parâmetro $G^*/\text{sen}\delta$ para verificação dos limites da especificação SUPERPAVE e sendo observado o não atendimento dos limites, o ensaio foi interrompido e assim, estabelecido o PG de alta temperatura de cada asfalto. A Figura 2 apresenta os resultados, sendo em (a) em amostras virgens e em (b) em amostras envelhecidas a curto prazo. A Figura 2 mostrou que em atendimento à norma ASTM D6373 (ASTM, 2021), o PG de alta temperatura do CAP 50/70 foi de 58°C ($G^*/\text{sen}\delta$ na condição virgem 1,95 kPa e envelhecida, 3,73 kPa). Por outro lado, o asfalto SBS 65/90 atendeu, os dois requisitos para a temperatura de 70°C e na condição envelhecida para 76°C, porém para esta temperatura, não atendeu na condição virgem (resultado de 2,12 kPa e requisito, no mínimo, 2,2 kPa).

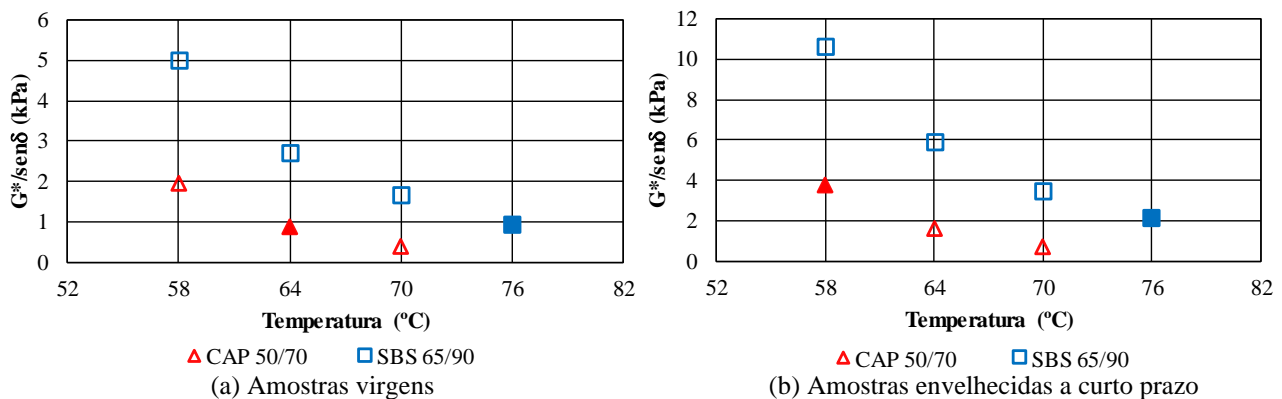
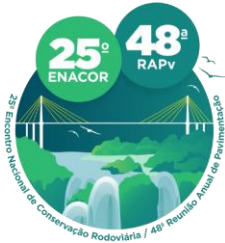


Figura 2. Parâmetro $G^*/\text{sen}\delta$ em varredura de temperaturas (AUTORES, 2022).

A partir dos valores de $G^*/\text{sen}\delta$, nas temperaturas de atendimento aos requisitos e a próxima, de “falha”, por meio das Equações 1 e 2, foi calculado o PG contínuo dos asfaltos. Os resultados foram calculados considerando as temperaturas de 58°C (atendimento) e 64°C (falha) para o CAP 50/70 e



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

www.rapvenacor.com.br



de 70°C (atendimento) e 76°C (falha) para o SBS 65/90. O CAP 50/70 foi classificado como PG 58-XX, porém, este asfalto atenderia uma temperatura de até 62,7°C (PG contínuo); enquanto que o SBS 65/90, classificado como PG70-XX poderia ter seu uso considerado em regiões com temperatura de até 75,2°C (PG contínuo). Comparativamente, destaca-se que pela classificação SUPERPAVE, o SBS 65/90 obteve, na alta temperatura, dois PGs (12°C) mais elevados que o CAP 50/70 e o PG contínuo resultou em um valor próximo, de 12,5°C.

A Tabela 4 apresenta os resultados obtidos no ensaio MSCR de recuperação, compliância não recuperável e percentual de diferença entre os níveis de tensão aplicados. Apesar da indicação que o ensaio seja conduzido na alta temperatura, neste estudo optou-se também, pela avaliação nas demais temperaturas até a considerada “falha” pela especificação SUPERPAVE.

Tabela 4. Resultados dos parâmetros do ensaio MSCR (AUTORES, 2022).

Asfalto	T (°C)	Parâmetros				J _{nr-diff} (%)
		Tensão 0,1 kPa		Tensão 3,2 kPa		
		R (%)	J _{nr} (kPa ⁻¹)	R (%)	J _{nr} (kPa ⁻¹)	
CAP 50/70	58	3,90	0,271	0,51	0,299	10,52
	64	-0,12	0,647	-0,50	0,688	6,27
SBS 65/90	58	94,69	0,003	90,29	0,006	88,82
	64	96,00	0,004	92,74	0,007	85,45
	70	95,37	0,008	92,32	0,012	62,33
	76	92,71	0,019	82,43	0,046	142,03

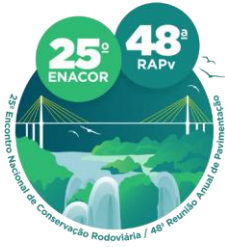
T – temperatura; R – percentual de recuperação; J_{nr} – compliância não recuperável; J_{nr-diff} – diferença percentual de J_{nr} entre os diferentes níveis de tensão.

Conforme Tabela 4, na temperatura de 58°C (classificação PG alta temperatura, o CAP 50/70 obteve valores de recuperação de 3,90% e 0,51% nos níveis de tensão de 0,1 kPa e 3,2 kPa, respectivamente. Estes resultados comprovaram uma mínima, ou diminuta recuperação, caracterizando deformação plástica. Por outro lado, o SBS 65/90 apresentou valores elevados de recuperação em toda a gama de temperaturas, inclusive na de “falha” da especificação (76°C).

Na temperatura de “falha” (64°C), observou-se para o CAP 50/70, um resultado negativo de recuperação. Segundo Liu et al. (2021), esse comportamento pode ser explicado pela incapacidade do asfalto em reagir à inercia do instrumento, gerando assim, uma deformação mesmo sem carga aplicada.

Relativamente aos resultados de J_{nr} na tensão de 3,2 kPa (Tabela 4), pôde-se aferir que o asfalto SBS 65/90 obteve melhor desempenho com menores valores de compliância não recuperável tanto no PG de alta temperatura, bem como nas demais temperaturas avaliadas em relação ao CAP 50/70. Os resultados comprovaram uma maior tendência ao desenvolvimento de deformação permanente no uso do CAP 50/70. Quanto ao parâmetro do J_{nr-diff}, observou-se que o SBS 65/90 apresentou valores consideravelmente mais elevados do que o CAP 50/70.

Considerando os valores obtidos de J_{nr3,2} (Tabela 4), de modo a classificar quanto ao tráfego (AASHTO, 2019), pôde-se constatar que o CAP 50/70 (PG 58-XX) poderia ser utilizado na condição de tráfego muito pesado (V) e ESAL (eixo simples padrão equivalente) superior a 10 milhões, enquanto o SBS 65/85 (PG 70-XX), na condição de tráfego extrapesado (E) e ESAL superior a 30



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

www.rapvenacor.com.br



milhões, como mostra a Tabela 5. Para ambos os asfaltos, no PG de alta temperatura, o parâmetro do $J_{nr-diff}$ foi inferior ao limite máximo de 75%;

Tabela 5. Classificação PG MSCR relativo ao tráfego.

Asfalto	T (°C)	$J_{nr3,2}$ (kPa ⁻¹)	Classificação	Tráfego
CAP 50/70	58	0,299	< 1,0	Muito pesado (V)
SBS 65/90	70	0,012	< 0,5	Extremamente pesado (E)

Os resultados dos parâmetros de predição de deformação permanente, sendo $G^*/sen\delta$ e MSCR comprovaram que o asfalto modificado SBS 65/90, em relação ao convencional CAP 50/70 apresentaria um desempenho superior quanto à deformação permanente, com possibilidade de uso em regiões com elevadas temperaturas e condição de tráfego extremamente pesado.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo se propôs a avaliar a predição de desempenho de um asfalto modificado por SBS quanto à deformação permanente por meio de ensaios reológicos. O asfalto SBS 65/90 foi caracterizado por meio de ensaios convencionais da norma de classificação brasileira, estabelecido o grau de desempenho (PG) de alta temperatura, estabelecido o PG contínuo e parâmetro SUPERPAVE $G^*/sen\delta$ e resultados do ensaio MSCR. Os resultados obtidos foram comparados ao desempenho de um asfalto convencional classificado como CAP 50/70.

Os resultados de predição de desempenho indicaram que o CAP 50/70 é mais suscetível ao aparecimento de deformação permanente em comparação ao SBS 65/90. De acordo com o PG, em alta temperatura, o CAP 50/70 correspondeu a um PG 58-XX enquanto que o SBS 65/90 a um PG 70-XX. PG contínuo mostrou que ambos os asfaltos poderiam ser aplicados em temperaturas superiores aquelas obtidas na classificação de alta temperatura. No entanto, a diferença entre a alta temperatura entre o SBS 65/90 e o CAP 50/70 foi superior a 12°C.

Quanto aos parâmetros obtidos no ensaio MSCR, o SBS 65/90 apresentou desempenho significativamente superior ao CAP 50/70.

Além da possibilidade de aplicação do SBS 65/90 (PG 70-XX) em regiões com elevadas temperaturas, a classificação quanto ao tráfego, mostrou que este asfalto poderia ser utilizado na condição de tráfego extrapesado (E) e ESAL (eixo simples padrão equivalente) superior a 30 milhões, enquanto que o CAP 50/70 (PG 58-XX), em situação de tráfego muito pesado (V) e ESAL superior a 10 milhões.

Os resultados obtidos são relativos à predição de comportamento dos asfaltos quanto à deformação permanente a partir da avaliação do comportamento dos asfaltos e de forma obrigatória, devem ser comprovados por meio de ensaios com misturas asfálticas em laboratório e estruturas de pavimento em campo.

Adicionalmente, a predição de desempenho favorável ao uso do asfalto SBS 65/90 em relação ao CAP 50/70, extensivamente aplicado no Brasil, conduz a uma reflexão em relação à avaliação das temperaturas onde o pavimento será implantado, tráfego atuante e escolha do asfalto.

Constatou-se que os parâmetros obtidos nos ensaios reológicos forneceram informações e indicativos de comportamento dos asfaltos que podem ser consideradas mais confiáveis em relação aos fornecidos por meio de ensaios convencionais, como penetração e ponto de amolecimento. Espera-



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

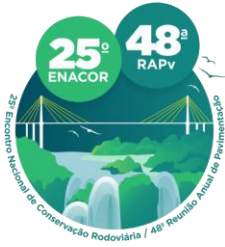
www.rapvenacor.com.br



se que este estudo tenha contribuído com o banco de dados de caracterização dos asfaltos produzidos no Brasil, bem como a disseminação do emprego de ensaios reológicos na avaliação deste material.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AASHTO. T350, Standard method of test for multiple stress creep recovery (MSCR). American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, DC, USA, 2019.
- ABNT. Norma NBR 6576, Materiais asfálticos – Determinação da penetração. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2007.
- ABNT. Norma NBR 15235, Materiais asfálticos – Determinação do efeito do calor e do ar em uma película delgada rotacional. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2009.
- ABNT. Norma NBR 6560, Ligantes asfálticos – Determinação do ponto de amolecimento – Método do anel e bola. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2016.
- ABNT. Norma NBR 15184, Materiais betuminosos – Determinação da recuperação elástica pelo ductilômetro de cimentos asfálticos modificados por polímeros elastoméricos ou borracha. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2022.
- ABNT. Norma NBR 15086, Materiais betuminosos – Determinação da viscosidade em temperaturas elevadas usando um viscosímetro rotacional. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2021.
- ASTM. D7175, Standard test method for determining the rheological properties of asphalt binder using a dynamic shear rheometer. American Society for Testing and Materials. West Conshohocken, Pennsylvania, United States, 2015.
- ASTM. D6373, Standard specification for Performance-Graded asphalt binder. American Society for Testing and Materials. West Conshohocken, Pennsylvania, United States, 2021.
- BAHIA, H.U.; HANSON, D.I.; ZENG, M.; ZHAI, H.; KHATRI, M.A.; ANDERSON, R.M. Characterization of modified asphalt binders in Superpave mix design. National Cooperative Highway Research Program (NCHRP) Report 459. Washington DC, USA, 2001.
- BASTOS, J.B.S.; FILHO, S.A.R.L.; SOARES, J. B.; SOARES, S.A.; Avaliação do efeito de ligantes asfálticos modificados com SBS e com argilas organofílicas na resistência à deformação permanente. XVIII Congresso Ibero Latinoamericano del Asfalto. Bariloche, AR, 2015.
- DEACON, J.A.; HARVEY, J.T.; TAYEBALI, A.; MONISMITH, C. L. Influence of binder loss modulus on the fatigue performance of asphalt concrete pavements. Annual Meeting of the Association of Asphalt Paving Technologists, 1997.
- DNIT. Norma 095/2006, Cimentos asfálticos de petróleo — Especificação de material. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), Diretoria de Planejamento e Pesquisa/IPR: Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2006.
- DNIT. Norma 129/2011, Cimento asfáltico de petróleo modificado por polímero elastomérico — Especificação de material. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), Diretoria de Planejamento e Pesquisa/IPR: Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2011.
- FONTES, L.P.T.L. Otimização do desempenho de misturas betuminosas com betume modificado com borracha para reabilitação de pavimentos. Tese de doutorado. Universidade do Minho, Portugal, 2009.
- LEITE, L.F.M. Estudos de preparo e caracterização de asfaltos modificados por polímeros. Tese de doutorado – Curso de Ciência e Tecnologia de Polímeros, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 266 f. 1999.
- LIU, H.; ZEIADA, W.; AL-KHATEEB, G.G.; SHANABLEH, A., SAMARAI, M. Use of the multiple stress creep recovery (MSCR) test to characterize the rutting potential of asphalt binders: A literature review. Construction and Building Materials, 219, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121320>
- MARCON, M.F. Estudo e comparação do desempenho mecânico e reológico entre concretos asfálticos modificados por polímero SBS, Borracha moída de pneu e nanomateriais. Universidade Federal de Santa Catarina, dissertação de mestrado, 2016.
- MARTINS, A.T. Contribuição para a validação do ensaio de resistência ao dano por fadiga para ligantes asfálticos. Dissertação de mestrado. COPPE – UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2014.



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

www.rapvenacor.com.br



MAZZONI, L.N.; TAKAHASHI, M.M.; VASCONCELOS, K.L.; BERNUCCI, L.; Avaliação da influência do envelhecimento e da temperatura nas características viscoelásticas de ligantes asfálticos. *Revista Transportes*. 2020. ISS: 2237-1346. DOI: 10.14295/transportes.v28i1.1897.

OLIVEIRA, Y.M.M., THIVES, L.P., CARLESSO, G.C., SILVA, A.M. Avaliação da predição do desempenho de misturas asfálticas por meio da caracterização reológicas dos ligantes asfálticos. *Brazilian Journal of Development*, 6, 4, 17417-17435, 2020. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n4-058>

VASCONCELOS K.L.; BERNUCCI, L.L.B., MIDORI, M.T.; CASTELO-BRANCO; V.T.F. Rheological characterization of asphalt binders used in strain relief asphalt mixtures (SRAM). *Dyna*, 84, 200, 90-96, 2017. <https://doi.org/10.15446/dyna.v84n200.56966>

WANG C., WANG H., ZHAO L., CAO D. Experimental study on rheological characteristics and performance of high modulus asphalt binder with different modifiers. *Construction and Building Materials*. DOI <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.08.058>. 2017.

ZEIADA W.; LIU, H.; EZZAT, H.; AL- KHATEEB, G.G.; UNDERWOOD, B.S.; SHANABLEH, A.; SAMARAI, M. Review of the Superpave performance grading system and recent developments in the performance-based test methods for asphalt binder characterization. *Construction and Building Materials*, 319, 126063, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.126063>