

IAG213-01-2013
AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO REOLÓGICO E MECÂNICO DE
MISTURAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS POR POLÍMERO SBS E SUAS
IMPLICAÇÕES PARA O DIMENSIONAMENTO DE ESTRUTURAS
DE PAVIMENTO
EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO Y REOLÓGICO
DE MEZCLAS ASFÁLTICAS POR POLÍMERO SBS Y SUS
IMPLICACIONES PARA EL DISEÑO DE LAS ESTRUCTURAS DE
PAVIMENTOS

Breno Barra
Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC
Florianópolis, Brasil
breno.barra@gmail.com

Leto Momm
Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC
Florianópolis, Brasil
leto.momm@gmail.com

Yader Guerrero Pérez
Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC
Florianópolis, Brasil
yagcivil@gmail.com

Resumo

O foco principal deste trabalho é avaliar o comportamento mecânico de duas misturas asfálticas distintas, a partir da execução de ensaios de módulo complexo e fadiga, formuladas com Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP) 30/45 e CAP 50/70, modificados com a adição de 4% de polímero Estireno-Butadieno-Estireno (SBS), em que a última teve seus resultados também comparados ao de uma mistura formulada com CAP 50/70 CONVENCIONAL. A metodologia de ensaios utilizada é embasada nos critérios normativos franceses, em razão de possuir fatores campo/laboratório estreitos e bem definidos, conferindo à pesquisa maior credibilidade nos resultados obtidos. Para composição da curva granulométrica foi utilizada a Equação de *Talbot*, possibilitando maior racionalidade e controle de qualidade na composição do esqueleto mineral. O dimensionamento hipotético das estruturas de pavimento foi realizado com a ferramenta computacional de cálculo *Viscouroute* 2.0, capaz de reproduzir o comportamento viscoelástico linear das misturas asfálticas sob solicitações dinâmicas de carregamento utilizando os parâmetros do modelo reológico de Huet-Sayegh, com o auxílio da ferramenta computacional *Viscoanalyse Ver Beta*, aponta, para as condições de execução dos ensaios, um melhor desempenho mecânico das misturas asfálticas modificadas por polímero SBS em relação à mistura asfáltica CAP 50/70 CONVENCIONAL, indicando a pertinência da consideração deste

procedimento técnico nas formulações de misturas asfálticas nas ocasiões em que não se disponha de ligantes betuminosos de boa qualidade em estado puro.

Resumen

El foco principal de este trabajo es evaluar el comportamiento mecánico de dos mezclas asfálticas diferentes, a partir de la ejecución de ensayos de módulo complejo y de fatiga, formuladas con Cemento Asfáltico de Petróleo (CAP) 30/45 e CAP 50/70, ambos modificados con 4% de Estireno-Butadieno-Estireno (SBS), en que la última tuvo sus resultados también comparados al de una mezcla formulada con CAP 50/70 CONVENCIONAL. La metodología de ensayos utilizada es fundamentada en los criterios normativos franceses, por poseer factores campo/laboratorio estrechos y bien definidos, confiriendo a la pesquisa mayor credibilidad en los resultados obtenidos. Para la composición de la curva granulométrica fue utilizada la Ecuación de *Talbot*, posibilitando mayor racionalidad y control de cualidad en la composición del esqueleto mineral. El dimensionamiento hipotético de las estructuras de pavimento realizado con la herramienta computacional de cálculo *Viscouroute* 2.0, capaz de reproducir el comportamiento viscoelástico linear de las mezclas asfálticas bajo sollicitaciones dinámicas de carga utilizando los parámetros del modelo reológico de Huet-Sayegh, con el auxilio de la herramienta computacional *Viscoanalyse Ver Beta*, apunta, para las condiciones de ejecución de los ensayos, un mejor desempeño mecánico de las mezclas asfálticas modificadas por polímero SBS en relación a la mezcla asfáltica CAP 50/70 CONVENCIONAL, indicando la pertinencia de la consideración de este procedimiento técnico en las formulaciones de mezclas asfálticas en las ocasiones en que no se disponga de ligantes bituminosos de buena calidad en estado puro.

INTRODUÇÃO

A compreensão das propriedades reológicas e mecânicas das misturas asfálticas é essencial, a diferentes temperaturas e frequências, em razão da influência que estas variáveis exercem diretamente sobre o comportamento viscoelástico linear destes materiais. Neste contexto, tem-se que a modificação de ligantes betuminosos por polímeros vem sendo uma solução adotada para suprir algumas deficiências dos ligantes convencionais e melhorar propriedades como a suscetibilidade térmica, resistência à deformação permanente, à propagação de trincas e à ruptura por fadiga (Leite, 1999; Airey, 2003). Portanto, este trabalho estuda a evolução do comportamento reológico e mecânico de misturas asfálticas formuladas com ligantes betuminosos (30/45 e 50/70) modificados por polímero Estireno-Butadieno-Estireno (SBS), a partir das metodologias francesas de formulação, com base nos ensaios de módulo complexo (Afnor NF EN 12697-26, 2004) e de fadiga (Afnor NF P 98-261-1, 1993) e, de dimensionamento das estruturas de pavimento de concreto asfáltico (Guide Technique, 1994), com o auxílio das ferramentas computacionais de cálculo *Viscoanalyse Ver Beta* e *Viscouroute* 2.0. A metodologia francesa foi escolhida em função de ser a única no mundo atualmente de cunho racional com estreita e comprovada relação campo/laboratório, o que confere credibilidade aos resultados obtidos nesta pesquisa.

METODOLOGIA ADOTADA

Para proceder ao desenvolvimento da campanha experimental desta pesquisa foram utilizados os cimentos asfálticos de petróleo (CAP), doravante denominados ligantes betuminosos, CAP 30/45 e CAP 50/70, classificados por penetração, ambos adicionados a 4% de polímero Estireno-Butadieno-Estireno (SBS), além de granulares britados oriundos de rocha matriz granítica.

A percentagem de 4% de SBS foi definida a partir dos ensaios de recuperação elástica (ductilidade) e penetração, com o objetivo de enquadrar os ligantes betuminosos dentro das especificações previstas na norma brasileira Dnit-EM 129/2010 (2010), tendo sido obtida a seguinte relação ponto de amolecimento (°C) / recuperação elástica: 60/85 para o CAP 30/45 e 65/90 para o CAP 50/70.

O procedimento de dosagem indicou os seguintes teores ótimos de ligante betuminoso: 5,0% para a mistura CAP 30/45 + 4% SBS e 4,8% para a mistura CAP 50/70 + 4% SBS.

A curva granulométrica utilizada na composição da matriz do esqueleto mineral das misturas asfálticas foi calculada com base na Equação 1 de *Talbot*, estando apresentada na Figura 1.

$$\% p = a \cdot \left(\frac{d}{D} \right)^n \quad (1)$$

onde:

%p = percentagem em peso que passa na peneira de menor diâmetro da curva;

a = constante, tomada igual a 100;

d = abertura de uma dada peneira (mm);

D = diâmetro máximo, abertura da peneira que passa 100% (mm); e,

n = expoente indicador de uma curva com granulometria mais aberta ou mais densa.

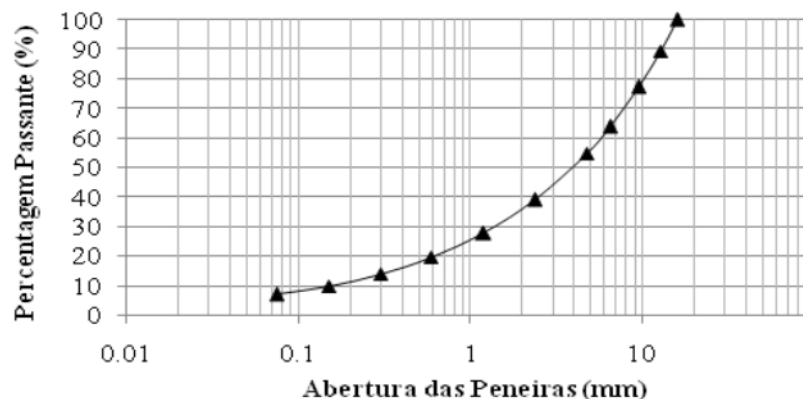


Figura 1: Curva granulométrica utilizada para composição das misturas asfálticas

Para avaliação da evolução do comportamento reológico viscoelástico linear das misturas asfálticas a várias temperaturas (-10°C, 0°C, 10°C, 15°C, 20°C, 30°C e 40°C) e frequências (1Hz, 3Hz, 10Hz e 30Hz) foram realizados ensaios de módulo complexo sobre corpos de prova com geometria trapezoidal, a deslocamento controlado e em modo contínuo, a um nível de

deformação constante de $40\mu\text{def}$, com produção de sinal senoidal de solicitação, conforme requisitos normativos preconizados pela metodologia francesa de formulação (Afnor NF EN 12697-26, 2004). A representação gráfica do Plano Cole-Cole foi tomada como referência para proceder às análises dos resultados no tópico correspondente mais adiante.

No que tange ao comportamento mecânico, foram executados ensaios de fadiga compreendendo o mesmo tipo de solicitação descrito para os ensaios de módulo complexo, porém, realizados na condição de 10°C e 25Hz apenas, estando de acordo com as diretrizes estabelecidas pela metodologia francesa (Afnor NF P 98-261-1, 1993).

De posse dos parâmetros fundamentais quanto ao comportamento mecânico e reológico das misturas asfálticas, tem-se que a validação dos resultados obtidos foi realizada a partir da calagem entre os dados obtidos experimentalmente em laboratório e o modelo reológico de Huet-Sayegh, com o auxílio da ferramenta computacional *Viscoanalyse Ver Beta*, para fins de reprodução do comportamento viscoelástico linear das misturas asfálticas. A partir da determinação das variáveis do modelo de Huet-Sayegh e das deformações admissíveis nos ensaios de fadiga para 10^6 ciclos (ϵ_6), foi utilizada a ferramenta computacional de cálculo *Viscoroute 2.0* para proceder à análise do comportamento mecânico das misturas asfálticas quando dispostas em estruturas de pavimento solicitadas sob carregamento dinâmico, com base nas especificações francesas constantes no Guide Technique (1994).

Cabe destacar que a mistura asfáltica CAP 50/70 + 4% SBS teve seus resultados dos ensaios de módulo complexo e de fadiga comparados aos da mistura CAP 50/70 CONVENCIONAL estudada por Shinohara (2012), com o intuito de verificar as prováveis distinções de comportamento reológico e mecânico, enfatizando que o CAP 50/70, bem como os granulares utilizados na composição mineral em ambos os casos possuem a mesma procedência, eliminando discrepâncias e impropriedades de análise.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A seguir são apresentados os resultados e as discussões provenientes dos estudos realizados a partir dos ensaios de módulo complexo e fadiga, bem como o dimensionamento simulado das estruturas de pavimento que as comportam.

Quanto ao Módulo Complexo

Na interpretação da evolução reológica das misturas asfálticas em função do plano Cole-Cole do módulo complexo (E^*) (Figura 2), nas baixas temperaturas, considerando a faixa variando entre -10°C a 10°C , tem-se que a mistura CAP 30/45 + 4% SBS quando comparada à mistura formulada com CAP 50/70 + 4% SBS apresenta uma diminuição dos valores correspondentes à parte imaginária (E_2) do módulo complexo (E^*), para todas as frequências testadas. Contudo, também uma diminuição da parte real (E_1).

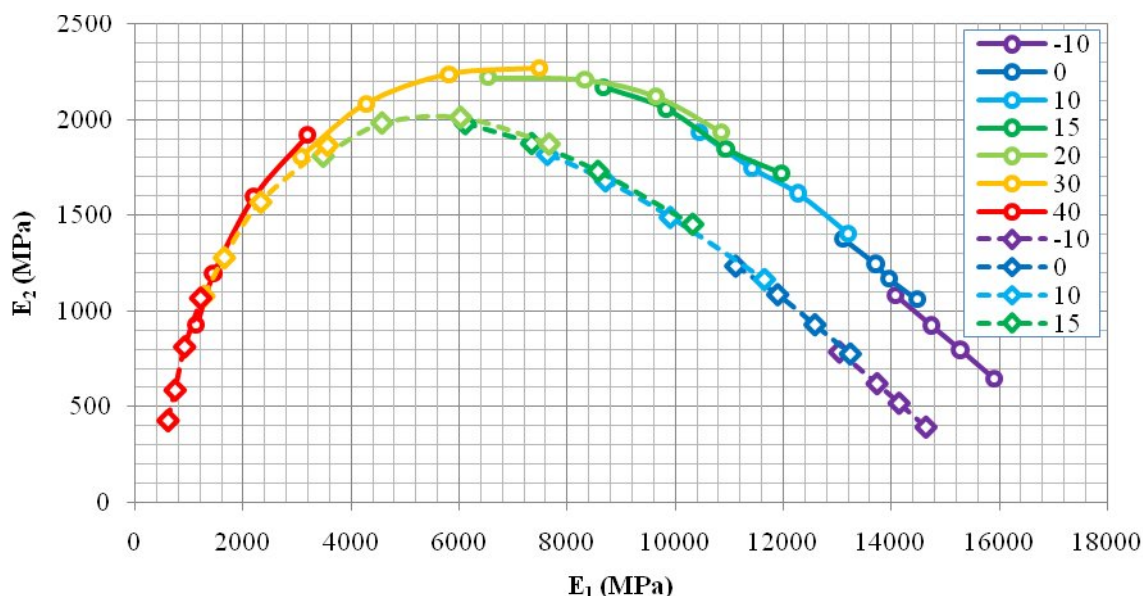


Figura 2: Plano Cole-Cole do módulo complexo das misturas CAP 30/45 + 4% SBS (linha tracejada) e CAP 50/70 + 4% SBS (linha contínua)

Esta evolução reológica descrita anteriormente indica, a princípio, uma melhoria nas condições de comportamento à fadiga da mistura CAP 30/45 + 4% SBS, porém, acompanhada simultaneamente de um decréscimo da rigidez do material, confirmando a sua tendência de maior suscetibilidade térmica, em relação à mistura CAP 50/70 + 4% SBS, em razão desta última apresentar partes reais (E_1) mais elevadas que a primeira, logo, maior rigidez.

No caso das temperaturas situadas entre 15°C e 20°C, tem-se que a mesma tendência é observada para a mistura CAP 30/45 + 4% SBS em relação à mistura dosada com CAP 50/70 + 4% SBS. Contudo, é importante ressaltar que enquanto o pico de perda de energia por atrito interno do material no domínio viscoso ocorre a 20°C para a primeira, verifica-se que esta condição se dá na temperatura de 30°C para a segunda.

Este tipo de ocorrência descrita no parágrafo anterior conduz a uma análise primária de que a mistura CAP 50/70 + 4% SBS apresenta melhores características reológicas para utilização em estruturas de pavimento, visto que necessitaria estar sujeita a uma temperatura mais elevada que a mistura CAP 30/45 + 4% SBS para que apresentasse picos máximos de perda de energia, logo, de rigidez.

Todavia, ao analisarmos as curvas de evolução reológica dos materiais no Plano Cole-Cole (Figura 2), tem-se que nas temperaturas de 20°C e 30°C, a mistura CAP 50/70 + 4% SBS apesar de apresentar partes reais (E_1) maiores que as da mistura CAP 30/45 + 4% SBS, também descreve uma trajetória mais acentuada no que tange às partes imaginárias (E_2), em que a mesma tendência é acompanhada pela temperatura de 40°C.

Para se ter uma visão mais acurada dos efeitos da modificação do ligante betuminoso pelo polímero SBS, foi estabelecido um comparativo entre uma mistura asfáltica dosada com CAP 50/70 em estado puro, denominada de CAP 50/70 CONVENCIONAL, proveniente da pesquisa

realizada por Shinohara (2012), com a mistura CAP 50/70 + 4% SBS testada nesta pesquisa (Figura 3).

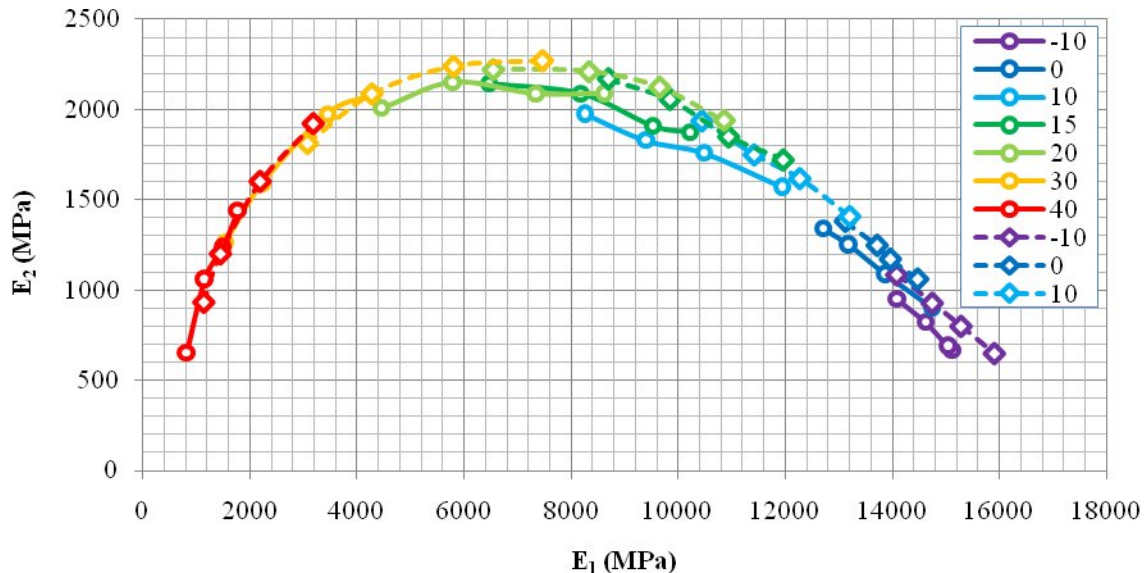


Figura 3: Plano Cole-Cole do módulo complexo das misturas CAP 50/70 + 4% SBS testada na pesquisa (linha tracejada) e CAP 50/70 CONVENCIONAL (linha contínua; Shinohara, 2012)

Neste contexto, nas temperaturas baixas, considerando a faixa compreendida entre -10°C e 0°C, é observada uma tendência de comportamento reológico a favor da mistura CAP 50/70 + 4% SBS, uma vez que as partes imaginárias (E_2) de ambas as misturas são próximas em suas escalas de valores. Porém, a mistura modificada apresenta partes reais (E_1) mais elevadas do módulo complexo (E^*), o que lhe confere uma rigidez maior nestas condições, logo, uma suscetibilidade térmica menor.

Entretanto, a partir da temperatura de 10°C até 20°C, percebe-se uma translação da curva correspondente ao CAP 50/70 + 4% SBS, em relação à mistura CAP 50/70 CONVENCIONAL. Assim, cabe enfatizar que a análise dos resultados tende a considerar o comportamento da mistura modificada melhor que a convencional, pois apesar da primeira apresentar perdas maiores de energia (aumento dos valores de E_2) que a segunda, estas não se dão em escala tão acentuada quanto observado na comparação entre as misturas CAP 30/45 + 4% SBS e CAP 50/70 + 4% SBS testadas nesta pesquisa, conforme discorrido anteriormente. Além disso, a mistura CAP 50/70 + 4% SBS possui valores mais elevados quanto à parte real (E_1) que a formulada com CAP 50/70 CONVENCIONAL, quando comparados os resultados por frequência testada.

Para as altas temperaturas (30°C e 40°C), verifica-se ao mesmo tempo um aumento da parte real (E_1), acompanhado também de uma forte elevação dos valores correspondentes à parte imaginária (E_2) do módulo complexo (E^*), o que a princípio conduz à conclusão de que nas temperaturas elevadas, a resistência à fadiga da mistura CAP 50/70 + 4% SBS seria menor que a mistura CAP 50/70 CONVENCIONAL. Contudo, isto somente poderia ser afirmado se houvessem dados referentes aos ensaios de módulo complexo e de fadiga para estas temperaturas e, complementados por uma análise comparativa baseada em dimensionamentos simulados.

Quanto à Fadiga

Comparando o comportamento das misturas CAP 30/45 + 4% SBS e CAP 50/70 + 4% SBS, verifica-se que a análise discorrida no tópico anterior quanto à avaliação da evolução reológica no plano Cole-Cole do E^* para a temperatura de 10°C, ou seja, sobre o fato da primeira possuir valores menores referentes à parte imaginária (E_2) do E^* , é corroborada pelos resultados dos ensaios de fadiga realizados a 10°C e 25Hz, pois apontam a mistura CAP 30/45 + 4% SBS como tendo melhor resistência à fadiga que a mistura dosada com CAP 50/70 + 4% SBS, em função da primeira ter apresentado maior deformação admissível para 10^6 ciclos ($\epsilon_6 = 191\mu\text{def}$) que a segunda ($\epsilon_6 = 175\mu\text{def}$) (Figura 4).

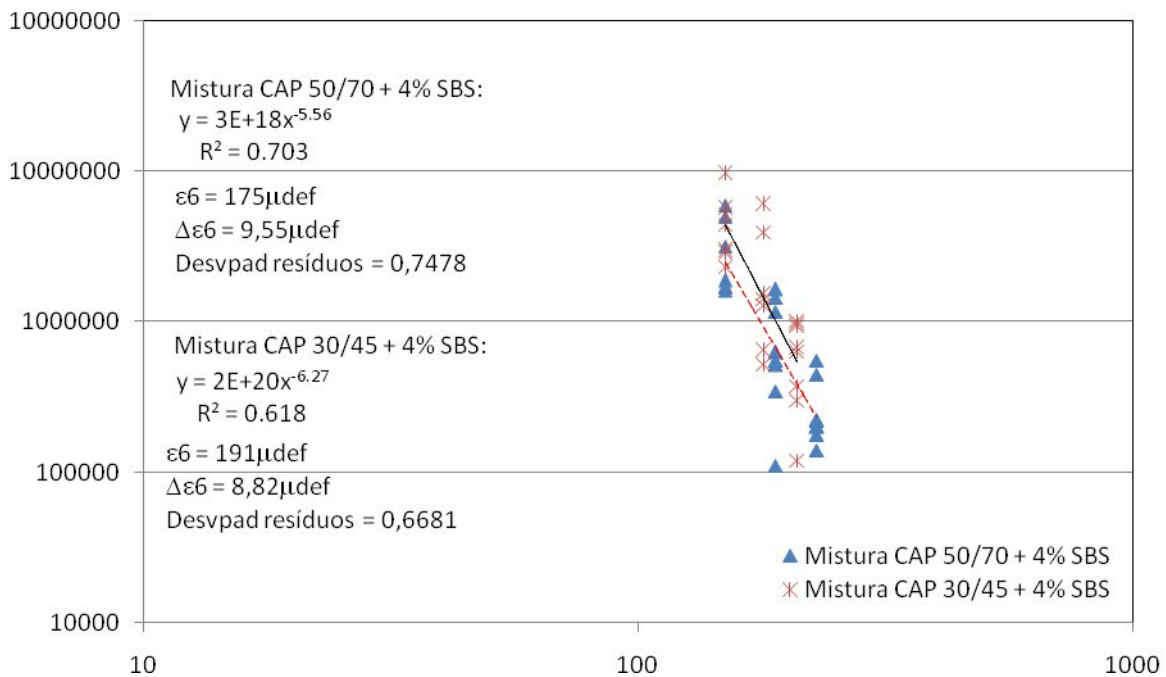


Figura 4: Curvas de fadiga das misturas CAP 30/45 + 4% SBS e CAP 50/70 + 4% SBS (linha tracejada)

Porém, a mistura CAP 30/45 + 4% SBS apresentou um expoente ($b = -6,27$), correspondente à Equação da curva de fadiga, maior que o da mistura CAP 50/70 + 4% SBS ($b = -5,56$). Isto significa que a primeira apresenta uma sensibilidade maior às variações dos níveis de deformação aplicados ao longo dos ciclos de solicitação, obviamente considerando apenas a faixa abrangida pelos ensaios realizados.

Em contrapartida, a mistura CAP 30/45 + 4% SBS apresenta um desvio-padrão dos resíduos e uma variação da deformação admissível ($\Delta\epsilon_6$) menor que a mistura CAP 50/70 + 4% SBS (Figura 4), o que significa possuir menor dispersão dos valores medidos experimentalmente em relação à linha de tendência que estabelece a Equação da curva de fadiga.

No caso da comparação entre as misturas CAP 50/70 + 4% SBS e CAP 50/70 CONVENCIONAL (Shinohara, 2012), verifica-se que a primeira apresentou uma resistência à fadiga maior que a segunda, em função de ter alcançado uma deformação admissível mais

elevada para 10^6 ciclos, a saber: $\epsilon_6 = 175\mu\text{def}$ e $\epsilon_6 = 161\mu\text{def}$, respectivamente, fator que confirma as tendências indicadas nas análises do módulo complexo para a temperatura de 10°C no tópico anterior. Porém, a mistura CAP 50/70 + 4% SBS indica um grau maior de sensibilidade aos níveis de deformação testados que a mistura CAP 50/70 CONVENCIONAL, pois o coeficiente angular da Equação da curva de fadiga é menor ($b = -4,45$) se comparado com o da segunda ($b = -5,56$) (Figura 5).

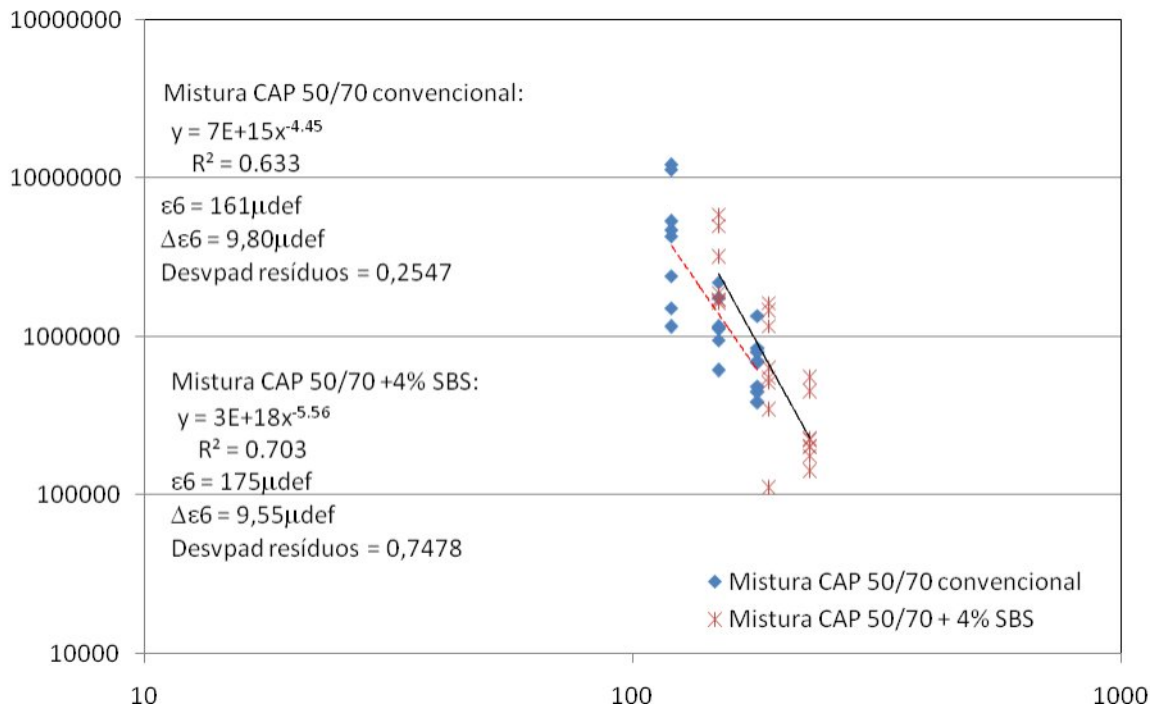


Figura 5: Curvas de fadiga das misturas CAP 50/70 + 4% SBS testada na pesquisa e CAP 50/70 convencional (linha tracejada; Shinohara, 2012)

E, apesar de ambas terem apresentado variações muito próximas de ϵ_6 ($\Delta\epsilon_6 = 9,55\mu\text{def}$ e $\Delta\epsilon_6 = 9,80\mu\text{def}$, nesta ordem), demonstram uma forte disparidade quanto ao desvio-padrão dos resíduos, estando a favor da mistura CAP 50/70 CONVENCIONAL o menor valor, indicando uma dispersão menos acentuada dos resultados obtidos experimentalmente em relação à linha de tendência que estabelece a Equação da curva de fadiga (Figura 5).

Quanto ao Dimensionamento Simulado das Estruturas de Pavimento

A estrutura de pavimento considerada neste trabalho foi projetada conforme as diretrizes normativas francesas (Guide Technique, 1994), compreendendo uma plataforma de fundação PF3 com 100MPa, uma camada de base de material granular não tratado (GNT) de 25cm com 300MPa, solicitada a uma carga dinâmica de 13kN por eixo a 72km/h, compreendendo a classe de tráfego TC5 (VMDA $\cong 500$), 15% de risco de ruptura e coeficiente de Poisson de 0,35 para todas as camadas. No que diz respeito às misturas asfálticas, os parâmetros do modelo de Huet-Sayegh obtidos com a ferramenta numérica *Viscoanalyse ver Beta*, os resultados dos ensaios de módulo complexo e de fadiga e, do dimensionamento simulado determinados pela ferramenta de cálculo *Viscoroute 2.0*, estão compilados nas Tabelas 1, 2, 3, respectivamente.

Tabela 1: Parâmetros do modelo de Huet-Sayegh para as misturas asfálticas analisadas

Parâmetro Modelo Huet-Sayegh	Mistura CAP 50/70 + 4% SBS	Mistura CAP 30/45 + 4% SBS	Mistura CAP 50/70 convencional (Shinohara, 2012)
E_{∞}	17322	15081	18314
E_0	2,20	175,00	115,24
k	0,13	0,25	0,17
h	0,50	0,65	0,55
δ	0,90	1,60	1,14
A_0	1,1634	1,85737	2,014
A_1	-0,302889	-0,302888	-0,272
A_2	0,0010671	0,0010671	0,00068
τ	0,04331	0,08670	0,1476

Tabela 2: Parâmetros determinados para as misturas asfálticas estudadas

Mistura Asfáltica	Módulo Complexo		Fadiga		
	$ E^* $ (10°C, 10Hz)	$ E^* $ (15°C, 10Hz)	ϵ_6 ($\times 10^{-6}$)	SN	1/b
CAP 50/70 + 4% SBS	12385	11096	175,00	0,75	-0,18
CAP 30/45 + 4% SBS	10037	8751	191,00	0,67	-0,16
CAP 50/70 convenc. (Shinohara, 2012)	10636	9721	161,00	0,25	-0,23

Tabela 3: Resultados obtidos nos dimensionamentos simulados

Mistura Asfáltica	Espessura (cm)	ϵ_t ($\times 10^{-6}$)	$\epsilon(NE, \theta_{eq}, f)$ ($\times 10^{-6}$)	(ϵ_z) ($\times 10^{-6}$)	$(\epsilon_{z, ad})$ ($\times 10^{-6}$)
CAP 50/70 + 4% SBS	12,0	103,0	103,0	279,0	395,0
CAP 30/45 + 4% SBS	10,0	112,0	115,0	329,0	
CAP 50/70 convenc.	15,0	84,0	85,0	364,0	

ϵ_t = deformação de tração na base da camada asfáltica.

$\epsilon(NE, \theta_{eq}, f)$ = deformação de tração admissível na base da camada asfáltica.

ϵ_z = deformação de compressão no topo da plataforma de fundação (PF).

$\epsilon_{z, ad}$ = deformação de compressão admissível no topo da plataforma de fundação (PF).

Analisando os resultados apresentados na Tabela 3, tem-se que para as condições de dimensionamento consideradas, a modificação dos ligantes betuminosos por polímero SBS aponta para obtenção de um melhor comportamento mecânico das misturas asfálticas, em relação à mistura asfáltica convencional, quando aplicadas nas estruturas de pavimento. E, no que diz respeito ao resultado global, tem-se a seguinte escala de desempenho decrescente, em função das condições de teste e dos resultados obtidos nesta pesquisa: mistura CAP 30/45 + 4% SBS > CAP 50/70 + 4% SBS > CAP 50/70 convencional.

CONCLUSÕES

Em razão dos resultados obtidos no decorrer deste trabalho, é possível concluir que uma metodologia utilizada para fins de estudo das misturas asfálticas, para que seja qualificada como racional, deve compreender análises de forma conjunta, ou seja, a partir da compreensão da evolução do comportamento reológico (ensaio de módulo complexo) e mecânico (ensaio de fadiga), a partir de estreita e comprovada relação campo/laboratório, em consonância a um dimensionamento simulado que considere a aplicação das misturas asfálticas testadas em condições práticas e dinâmicas de solicitação, tal como observado no campo.

Análises considerando apenas uma destas vertentes não são capazes de definir de forma confiável a viabilidade de utilização de novos materiais incorporados às misturas asfálticas, pois nem sempre a mistura asfáltica que obteve os melhores resultados referentes à rigidez ou à fadiga, de forma isolada, é necessariamente a que possuirá o melhor desempenho mecânico quando aplicada no campo em uma estrutura de pavimento, conforme demonstrado neste trabalho. Logo, cada caso deve ser estudado particularmente, sem generalizações.

Portanto, a partir da campanha experimental realizada, tem-se que a modificação dos ligantes betuminosos pelo polímero SBS mostrou ser eficiente quanto à melhoria das propriedades reológicas e mecânicas das misturas asfálticas convencionais, para os propósitos de aplicação desta pesquisa, indicando ser uma solução que deve ser observada pelos projetistas rodoviários nas ocasiões de indisponibilidade de ligantes betuminosos com boa qualidade em sua forma pura.

REFERÊNCIAS

- Afnor NF EN 12697-26 (2004). *Mélages Bitumineux: Méthodes d'essai par mélange hydrocarboné à chaud, Partie 26: Module de Rigidité*. Norme Européenne/Norme Française, Association Française de Normalisation.
- Afnor NF P 98-261-1 (1993). *Essais Relatifs aux Chaussées: Détermination de la Résistance en Fatigue des Mélanges Hydrocarbonés - Partie 1: Essai par Flexion à Flèche Constante*, Association Française de Normalisation.
- Airey, G. D. (2003). Rheological Properties of Styrene Butadiene Styrene Polymer Modified Road Bitumens. *Fuel*, v.82, p. 1709-1719.
- Dnit-EM 129/2010 (2010), *Cimento asfáltico modificado por polímero SBS - Especificação de Material*. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, Rio de Janeiro, RJ.
- Guide Technique (1994). *Conception et Dimensionnement des Structures de Chaussée*. Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (LCPC) en partenariat avec le Service d'Étude Technique des Routes et Autoroutes (SETRA).
- Leite, L. F. M. (1999). *Estudos de Preparo e Caracterização de Asfaltos Modificados por Polímero*, Tese de Doutorado, IMA/UFRJ, Rio de Janeiro.
- Shinohara, K. J. (2012). *Estudo do Comportamento do Concreto Asfáltico Modificado pelo Polímero EVA no Módulo Complexo e na Fadiga*. Dissertação de Mestrado apresentada à Universidade Federal de Santa Catarina.