

ESTUDO DO COMPORTAMENTO MECÂNICO EM LABORATÓRIO DE MISTURAS ASFÁLTICAS TIPO SMA NA FAIXA 0/8S

Patricia Barboza da Silva

Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Transportes

Liédi Legi Bariani Bernucci

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Transportes

Fábio Pinto de Oliveira

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

Leni Figueiredo Mathias Leite

Centro de Pesquisas da PETROBRAS

RESUMO

O artigo apresenta resultados obtidos em laboratório de um estudo de comportamento mecânico de misturas asfálticas tipo SMA na faixa 0/8S, empregando quatro tipos de ligantes asfálticos: CAP 20, CAP 50/60 e dois tipos de asfalto modificado por polímero SBS. Tomou-se por base uma dosagem de SMA 0/8S feita para a execução de revestimento delgado em trecho experimental na Rodovia Presidente Dutra, ligando São Paulo ao Rio de Janeiro, pista Sul. Foram realizados ensaios de deformação permanente em trilha de rodas em simulador de tráfego, resistência à tração e módulo de resiliência. Observou-se que o uso de asfalto modificado por polímero e o asfalto convencional CAP 50/60 mostram uma redução de afundamentos em trilhas de roda e do módulo de resiliência em relação às misturas com CAP 20, demonstrando maior flexibilidade desses ligantes.

ABSTRACT

The paper presents the laboratory results of a mechanical behavior study on SMA 0/8S asphalt mixtures using four types of asphalt: AC 20, AC 50/60 and two asphalt modified by SBS, one with 3.0% and the other with 6.5%. The research was based on a SMA 0/8S design using AC 20 as a thin wearing course of a test track constructed in 2002 in the Presidente Dutra highway, which connects São Paulo to Rio de Janeiro. For the evaluation of mechanical properties, the asphalt mixtures were submitted to dynamic indirect tension test for the determination of the resilient modulus, indirect tensile strength test, and resistance to rutting in a wheel-tracking device. It was observed that mixes made by modified binder and conventional asphalt 50/60 show a reduction of rutting and resilient modulus when compared to mixtures using AC 20, indicating greater flexibility of these binders.

1. INTRODUÇÃO

Em 1970, aproximadamente 50 mil quilômetros de rodovias brasileiras eram pavimentadas; em 1990 esse número chegou a aproximadamente 148 mil quilômetros, o que representou um aumento de 200% da rede pavimentada em 20 anos. Atualmente são 164 mil, o que indica que a pavimentação de rodovias praticamente estagnou na última década, com cerca de apenas 10% de aumento (GEIPOT, 2000). Considerando ainda que as muitas das rodovias existentes apresentam-se em mau estado de conservação, é imprescindível que sejam estudadas novas técnicas para construção ou reabilitação de pavimentos, que contemplem revestimentos asfálticos mais duráveis, demandem reduzida manutenção ao longo de sua vida de operação, assegurando conforto e segurança para os usuários, e reduzindo custos operacionais e de transporte em geral.

Assim, novas soluções são necessárias para ampliar a gama de alternativas de revestimentos para atenderem a uma grande demanda de serviços. A prática brasileira de pavimentação é pela opção histórica dos revestimentos asfálticos; atualmente, no entanto, com as técnicas correntes e em prática no Brasil, a pavimentação asfáltica não tem atendido adequadamente os requisitos de resistência e durabilidade no caso de pavimentos para alto volume de tráfego,

apresentando problemas precoces, como trincamento por fadiga, desagregação do revestimento asfáltico, trilhas de roda, entre outros.

A prática de construção de revestimentos pouco duráveis ou inadequados à situação tem resultado, em alguns casos, na descrença pelos leigos na solução asfáltica. A introdução de novas técnicas, utilizando novos ligantes asfálticos e novas formulações granulométricas, adequadas às especificações de cada caso, podem contribuir para a reversão do quadro atual.

O SMA (*Stone Matrix Asphalt* – Matriz Pétreo Asfáltica) aparece neste cenário como uma alternativa, proporcionando ao pavimento maior durabilidade de acordo com pesquisas realizadas no exterior, onde esta solução tem-se mostrado bastante resistente ao trincamento por fadiga ou por reflexão de trincas, e conjugando excepcional resistência ao afundamento de trilhas de roda. Além disso, tem o potencial de melhorar a aderência pneu/pavimento em pistas molhadas devido à sua macrotextura que permite uma superfície mais rugosa e diminui a ocorrência do borrfio ou *spray* provocado pelos pneus traseiros dos veículos aos veículos imediatamente sucessores; estes fatores devem ser considerados positivos por contribuírem para um aumento considerável na segurança dos usuários.

1.1. Misturas asfálticas tipo SMA

O SMA (*Stone Matrix Asphalt* – Matriz Pétreo Asfáltica) é um revestimento asfáltico a quente, concebido para maximizar o contato entre os agregados graúdos, aumentando a interação grão/grão e a resistência à ação do tráfego; caracteriza-se por conter quantidade elevada de agregados graúdos, em torno de 70% a 80% maiores que 4,75 mm. Devido a esta graduação, forma-se um maior volume de vazios entre os agregados graúdos, que são preenchidos por uma argamassa composta pela mistura da fração areia, fíler, ligante asfáltico e fibras (NAPA, 1999).

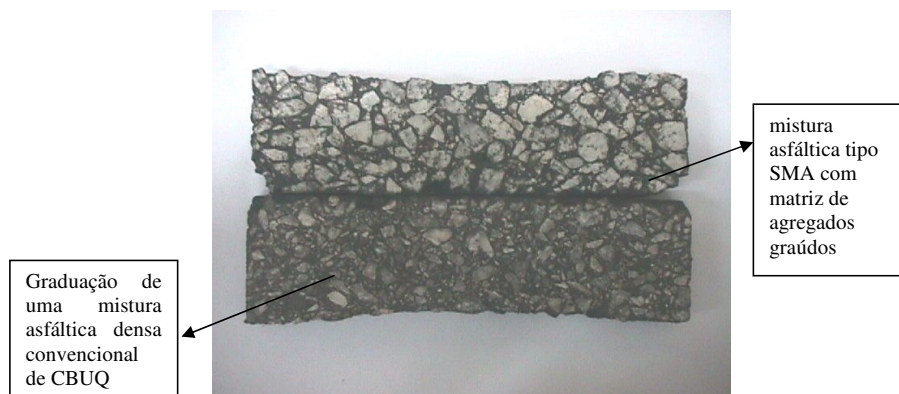


Figura 1: Fotos de cortes de transversais de revestimentos asfálticos tipo SMA e CBUQ, exibindo diferentes graduações

O SMA foi concebido na Alemanha em 1968 e desde a década de 70 tem sido utilizado na Europa. Nos Estados Unidos, os primeiros projetos datam da década de 90 (Brown, 1992).

No Brasil o SMA foi utilizado pioneiramente em fevereiro de 2000 nos serviços de restauração do autódromo “José Carlos Pace” (Interlagos), em São Paulo, para realização da etapa Brasil do circuito de Fórmula 1 (Beligni *et al.*, 2000), empregando asfalto modificado por 6,5% de polímero SBS. Em 2001, foi executado um trecho-teste com SMA na faixa alemã 0/11S com asfalto modificado por 6% de polímero SBS, na via Anchieta (SP), em um local conhecido como “curva da onça” (Reis *et al.*, 2002), sujeito ao tráfego intenso de caminhões rumo ao Porto de Santos, em trecho íngreme e em curva acentuada. Em maio de 2002, foi construído com SMA também na faixa 0/11S com asfalto modificado por 6% de polímero SBS, trecho experimental no Corredor Tecnológico, em Barueri, SP, acesso à Pedreira e Usina de Asfaltos da Serveng Civisan SA, sujeito a tráfego severo de caminhões. Em julho de 2002 foi executado na via Dutra, em Arujá (SP), em um local que apresenta solicitações superiores a 10.000 veículos comerciais por dia, uma restauração com SMA na faixa 0/8S com CAP 20 (Chaves *et al.*, 2002). Em 2003, foram construídos dois trechos experimentais no interior paulista, em rodovias sob a responsabilidade da Concessionária Rodovia das Colinas, na faixa americana 0/12,5 empregando em um deles asfalto modificado por polímero SBS e em outro asfalto-borracha. No primeiro semestre de 2004, foram executados três corredores de ônibus na cidade de São Paulo, sendo dois na faixa 0/11S e um na faixa 0/8S, todos com asfalto modificado por 6% de polímero SBS.

2. PESQUISA REALIZADA COM UMA MISTURA ASFÁLTICA SMA 0/8S

Foram feitos estudos laboratoriais tendo como ponto de partida a experiência do SMA empregado na Rodovia Presidente Dutra, na faixa 0/8S com CAP 20, citado no item anterior. A pesquisa laboratorial teve como objetivo estudar o comportamento mecânico dessa mistura e verificar a influência do tipo de ligante asfáltico nestas propriedades. Esta análise pautou-se na busca de explicações para comportamento verificado em campo que foi aquém do esperado, apresentando alguns poucos pontos de desagregação e macrotextura fechada ou fina nas trilhas de roda.

O estudo apresentado é parte integrante de uma pesquisa de maior âmbito, intitulada “misturas betuminosas especiais para alta resistência e alta durabilidade”, iniciada em 2001 e a ser concluída em 2004, com a participação da UFRJ, da UFRGS e da USP, com financiamento do Fundo Setorial do Petróleo e Gás – CT-PETRO, repassado através da FINEP, e com apoio da PETROBRAS.

2.1. Faixa granulométrica

A primeira especificação alemã sobre SMA foi publicada em 1984, englobando 4 tipos de formulações granulométricas: 0/11S, 0/8S, 0/8 e 0/5, sendo o último algarismo correspondente ao diâmetro máximo do agregado, permitidos até 10% de agregados maiores que a referência máxima. Para tráfego pesado ou solicitações especiais, a especificação restringe-se às faixas 0/8S e 0/11S.

A faixa empregada neste trabalho refere-se ao trecho executado na Nova Dutra, cujos limites de norma são apresentados na Tabela 1. Na Figura 2, são apresentadas a faixa granulométrica 0/8S e a curva obtida com agregados de gnaiss.

Tabela 1: Faixa alemã de SMA 0/8S (ZTV Asphalt – StB, 2001)

Peneira	% em massa
< 0,09 mm	10 a 13
> 2 mm	73 a 80
> 5 mm	55 a 70
> 8 mm	≤ 10

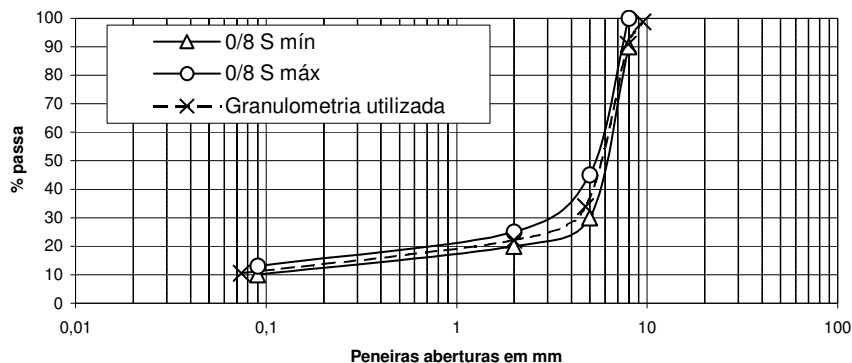


Figura 2: Faixa granulométrica alemã 0/8S e graduação empregada na pesquisa

2.2. Ligantes asfálticos

Foram utilizados 4 diferentes ligantes asfálticos: um CAP 20 da Refinaria de Paulínia, um asfalto modificado por 3% de SBS, um asfalto modificado por 6,5% de SBS e um asfalto CAP 50/60, com procedência de Fortaleza, obtido do refino de um novo poço da PETROBRAS denominado Fazenda Alegre.

Os teores utilizados na pesquisa foram 6,5%; 7,0% e 7,5% de cada um dos ligantes, totalizando 12 misturas asfálticas distintas.

2.3. Fíler e fibras

Foram empregados o fíler da própria britagem, completados com 1,5% de cal hidratada do tipo CH-1. As fibras são de celulose, em *pelets*, com 0,45% em peso na mistura.

3. ENSAIOS LABORATORIAIS

Foram feitos ensaios de dosagem com a mistura asfáltica com CAP20, segundo as especificações da EAPA, 1998, apresentadas em Chaves *et al.* (2002), tendo sido obtido o teor de projeto de 7,5%. A dosagem para o SMA utiliza testes e medidas volumétricas realizadas em corpos-de-prova compactados pelo Método Marshall, com 50 golpes de cada lado, e verificação de teor no ensaio de escurimento. Tendo em vista a ocorrência de fechamento de macrotextura logo após a obra da Nova Dutra, foram testadas as propriedades mecânicas das misturas de SMA também para os teores de 6,5% e 7,0%. Estes teores foram reduzidos para testes nesta pesquisa com base na experiência positiva obtida em outros trechos de SMA testados no Estado de São Paulo, onde os teores obtidos no processo de dosagem europeu foram corrigidos, com subtração de uma pequena porcentagem de ligante, tendo por base a análise das deformações permanentes no simulador de tráfego tipo LCPC. Tal processo de verificação de teor de ligante por teste de deformação permanente é de uso corrente na

França, nos níveis 2, 3 e 4 de formulação (Brousseau, 2002). Além dos testes de deformação permanente, foram realizados ensaios de módulo de resiliência e de resistência à tração por compressão diametral.

3.1. Ensaio de deformação permanente

Após a mistura dos componentes na temperatura especificada pelos ensaios de viscosidade do ligante, as misturas asfálticas são compactadas em placas de 50 mm de espessura, 500 mm de comprimento e 180mm de largura, na mesa compactadora tipo LCPC da França - Figura 3. As deformações permanentes são obtidas em ensaios com o equipamento simulador de tráfego do LCPC da França, conduzidos em duas placas simultaneamente à temperatura de 60°C – Figura 4.

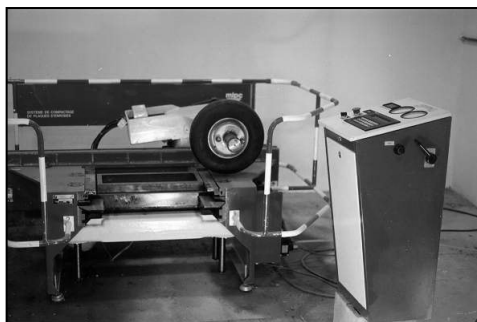


Figura 3: Mesa compactadora tipo LCPC



Figura 4: Simulador de tráfego tipo LCPC

3.2. Ensaio de módulo de resiliência e de resistência à tração por compressão diametral

O ensaio de módulo de resiliência (ASTM D 4123-95) é uma medida da rigidez do material no regime elástico frente à aplicação de carga cíclica que gera pequenos deslocamentos recuperáveis. O ensaio consiste na aplicação de uma carga vertical em corpos de prova cilíndricos, com valor de 15% da força máxima encontrada no ensaio de resistência à tração por compressão diametral. Esta carga é aplicada durante 0,1s e o intervalo entre duas aplicações é de 0,9s. Os deslocamentos recuperáveis são medidos horizontalmente por meio de um LVDT. Os dados de carga e de deslocamentos são registrados por um programa computacional de aquisição de dados. A temperatura de ensaio é de 25°C. A Figura 5 mostra uma vista geral do equipamento para o ensaio de módulo de resiliência.

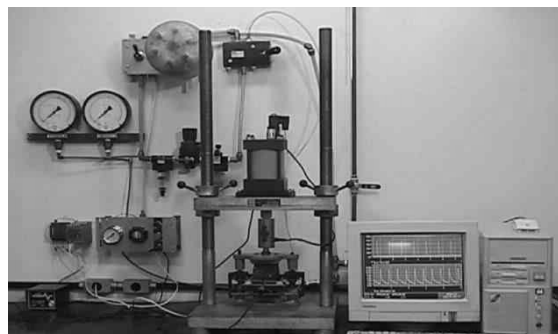


Figura 5: Equipamento para a realização do ensaio de Módulo de Resiliência

Os ensaios de resistência à tração por compressão diametral (ABNT NBR 15087/2004) são conduzidos em prensa Marshall com 50mm de deslocamento por minuto, com registro da carga de ruptura por meio de programa computacional de aquisição de dados.

4. RESULTADOS DE ENSAIO E DISCUSSÃO

4.1. Deformação permanente

As medidas de deformação permanente em placas são efetuadas após 100, 300, 1000, 3000, 10000 e 30000 ciclos de carregamento, em quinze pontos em cada uma das placas ensaiadas, sendo que o resultado é expresso como a média aritmética do afundamento nos pontos medidos para um determinado número de ciclos. Na Tabela 2 são mostrados os resultados obtidos de deformação, fornecidos em porcentagem, que correspondem aos afundamentos divididos pela espessura de 50 mm das placas de ensaio.

Tabela 2: Resultados de deformação permanente em porcentagem obtidas em simulador de tráfego

<i>Tipo de ligante</i>	<i>Teor de asfalto</i>	Ciclos					
		<i>100</i>	<i>300</i>	<i>1.000</i>	<i>3.000</i>	<i>10.000</i>	<i>30.000</i>
CAP 20	6,5%	3,0	3,7	4,3	5,0	5,7	6,6
	7,0%	4,6	5,6	6,6	7,5	8,3	9,0
	7,5%	4,9	5,6	6,1	6,8	7,7	8,5
Asf. mod. 3% SBS	6,5%	2,6	3,1	3,6	4,3	5,1	6,1
	7,0%	3,5	4,0	4,8	5,2	6,1	6,9
	7,5%	4,0	4,8	5,5	6,4	7,0	7,6
Asf. mod. 6,5% SBS	6,5%	2,9	3,3	3,7	4,0	4,3	4,6
	7,0%	3,5	3,7	4,0	4,4	4,8	5,2
	7,5%	3,8	4,3	4,6	4,9	5,3	5,4
CAP 50/60.	6,5%	3,2	3,6	4,0	4,5	5,0	5,3
Faz. Alegre	7,0%	3,4	3,9	4,3	4,7	5,2	5,6
	7,5%	3,1	3,6	3,8	4,3	4,9	5,2

Nas Figuras 6, 7 e 8 são apresentadas as retas obtidas por regressões com base nos resultados de deformação permanente da Tabela 2, para os teores de 6,5%, 7,0% e 7,5% respectivamente, para os quatro tipos de ligante asfáltico testados. Na Tabela 3 são apresentadas as equações de regressão e os coeficientes de correlação R^2 .

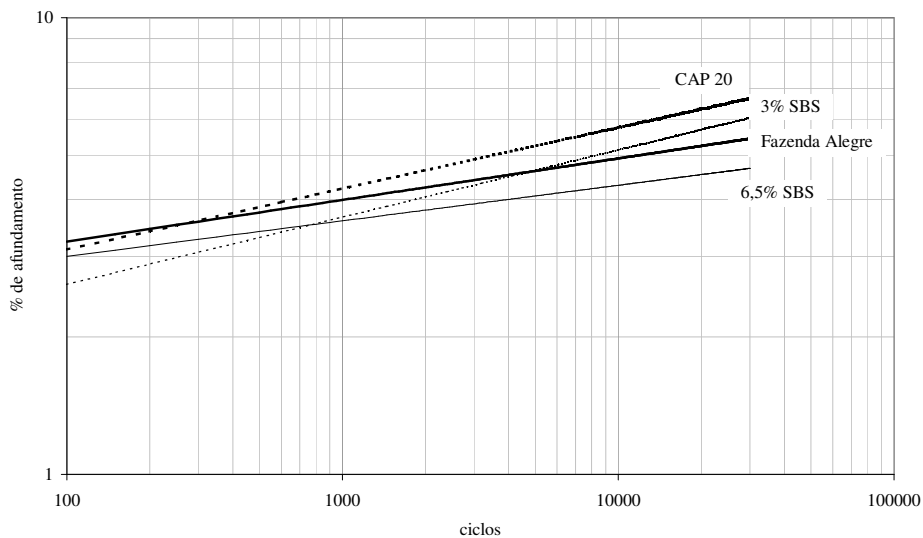


Figura 6: Deformação Permanente em misturas empregando teor de ligante 6,5%

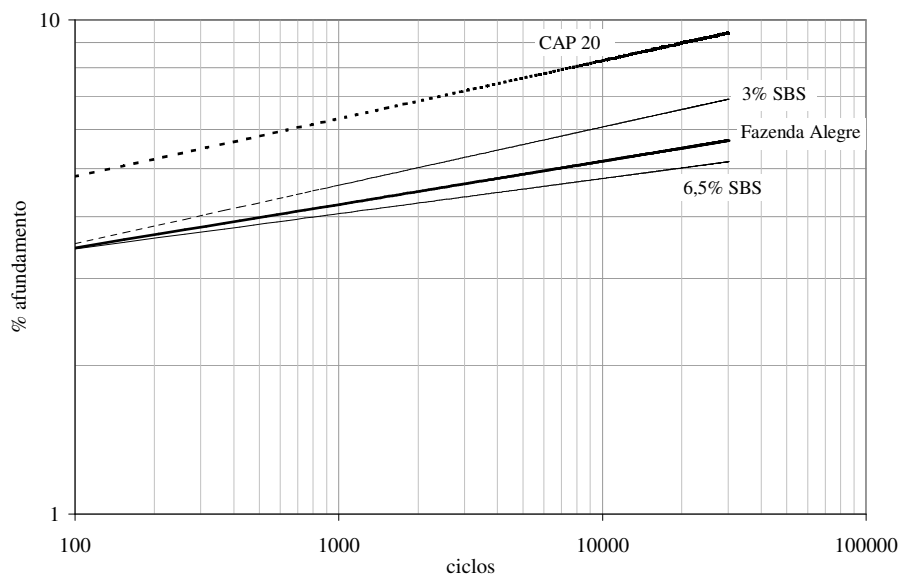


Figura 7: Deformação Permanente em misturas empregando teor de ligante 7,0%

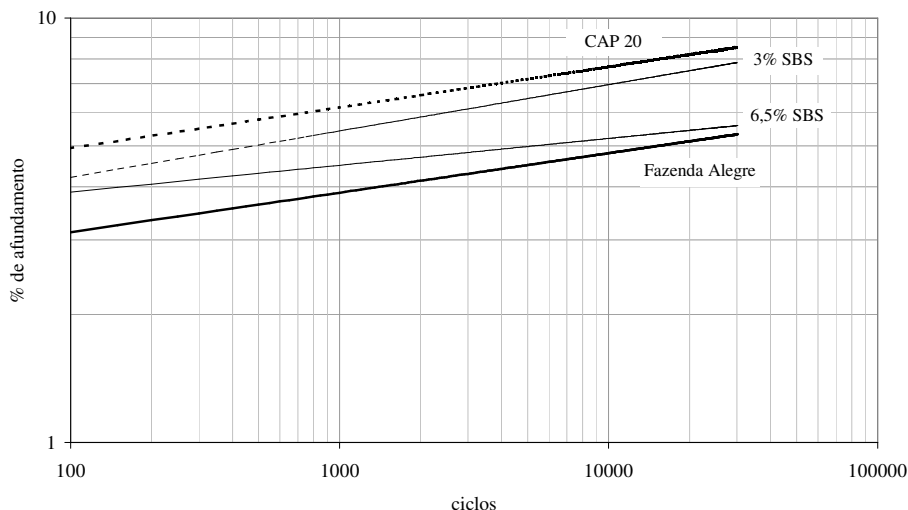


Figura 8: Deformação Permanente em misturas empregando teor de ligante 7,5%

Tabela 3: Regressões dos ensaios de deformação permanente

Tipo de Ligante	Teor de ligante(%)	Regressão (*)	R ²
CAP 20	6,5	$y=1,6774x^{0,1337}$	0,9942
	7,0	$y=2,8093x^{0,1172}$	0,9696
	7,5	$y=3,1767x^{0,0957}$	0,9985
Asfalto modificado com 3% de SBS	6,5	$y=1,3234x^{0,1471}$	0,9996
	7,0	$y=2,0504x^{0,1179}$	0,9964
	7,5	$y=2,549x^{0,1092}$	0,9804
Asfalto modificado com 6,5% de SBS	6,5	$y=2,0989x^{0,0778}$	0,9812
	7,0	$y=2,4802x^{0,0711}$	0,9991
	7,5	$y=2,9068x^{0,0632}$	0,973
Fazenda Alegre	6,5	$y=2,1287x^{0,0909}$	0,9897
	7,0	$y=2,3097x^{0,0876}$	0,9867
	7,5	$y=2,0384x^{0,0931}$	0,9901

(*) Onde y = % de afundamento; x = n.º de ciclos

Pode-se observar que o SMA com CAP 20 é o tipo de mistura que apresenta os maiores valores de deformação permanente em comparação com os demais ligantes; além disso é aquele mais sensível ao aumento do teor de ligante. Deve-se ressaltar que as misturas asfálticas com 7,5% de ligante são muito ricas, mesmo em excesso, de tal forma que há um certo grau de escorrimto de ligante que pode ser observado nos fundos das placas após sua retirada do simulador ao final dos ensaios.

A deformação permanente das misturas com ligante convencional CAP 50/60 é pouco sensível à alteração de seu teor devido à sua alta viscosidade, fato também observado com ligantes duros como o CAP 40 convencional (Reis *et al.*, 2002). Esta é uma vantagem

complementar de ligantes mais viscosos que permitem o uso de elevados teores de ligante, benéfico à resistência à fadiga e à desagregação, podendo não comprometer o desempenho à deformação permanente.

As misturas com asfalto modificado por SBS mostram redução de afundamentos pela introdução do polímero, tão mais eficiente quanto maior a porcentagem de polímero.

As especificações européias de misturas asfálticas têm fixado o valor limite máximo de 5% de afundamento nas trilhas de rodas do ensaio com simulador de tráfego aos 30000 ciclos para revestimentos de vias sujeitas a tráfego pesado (Brosseaud, 1993). Por este critério severo, apenas as misturas asfálticas com asfalto modificado por 6,5% de SBS seriam indicadas. No entanto, critérios específicos para SMA devem ser criados para melhor selecionar as misturas, graduações e tipos de ligante. A experiência européia tem mostrado o bom desempenho de SMA com ligantes modificados com pequenas porcentagens de polímeros em vias de tráfego muito pesado; da mesma forma, em várias oportunidades tem sido citada a possibilidade de uso de asfaltos convencionais ricos em maltenos e de alta viscosidade, como os asfaltos venezuelanos. Abre-se, portanto, uma possibilidade ímpar de introdução de SMA com asfalto tipo Fazenda Alegre que apresenta comportamento semelhante os asfaltos venezuelanos.

4.2. Módulo de resiliência e de resistência à tração por compressão diametral

Os resultados de ensaios de resistência à tração por compressão diametral realizados a 25°C estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4: Resultados de resistência à tração por compressão diametral em MPa

<i>Teor de asfalto</i>	<i>Tipo de ligante asfáltico</i>			
	<i>CAP 20</i>	<i>Asfalto modificado com 3% SBS</i>	<i>Asfalto modificado com 6,5% SBS</i>	<i>CAP 50/60 Fazenda Alegre</i>
6,5%	1,14	1,08	1,21	1,06
7,0%	1,28	1,00	1,23	1,02
7,5%	1,10	1,06	1,23	0,98

Observa-se que há uma variação muito pequena nos resultados, com valores entre 1 e 1,3 MPa. As experiências com o SMA na curva da onça na Via Anchieta mostram valores desta ordem de grandeza (Reis *et al.*, 2002).

Os resultados de módulo de resiliência realizados a 25°C, apresentados na Tabela 5, são a média dos resultados obtidos em 3 a 6 corpos-de-prova. A Figura 9 mostra para efeito comparativo os valores de módulo de resiliência para o teor de 6,5%.

Tabela 5: Resultados dos ensaios de módulo de resiliência a 25°C em MPa

<i>Módulo de Resiliência Médio a 25°C</i>				
<i>Teor de asfalto</i>	<i>CAP 20</i>	<i>Asfalto modificado com 3% SBS</i>	<i>Asfalto modificado com 6,5% SBS</i>	<i>CAP 50/60 Fazenda Alegre</i>
6,5	14874	7549	9783	6616
7,0	12437	11544	10358	8098
7,5	10142	9748	n.r.*	7125

(*) não realizado

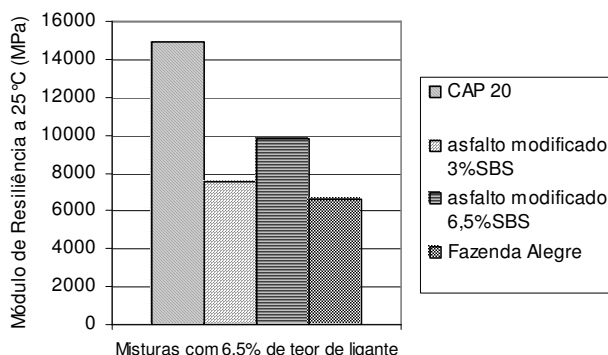


Figura 9: Gráfico comparativo dos resultados de módulo de resiliência a 25°C em misturas com teor 6,5% de ligante

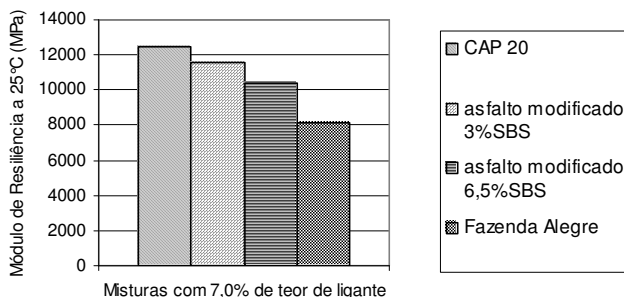


Figura 10: Gráfico comparativo dos resultados de módulo de resiliência a 25°C em misturas com teor 7,0% de ligante

Observa-se, principalmente para o teor de 6,5%, que o módulo de resiliência das misturas asfálticas com polímero SBS e com asfalto CAP 50/60 de Fazenda Alegre são inferiores cerca de um terço a metade do valor com asfalto CAP 20. Para os demais teores, esta diferença diminui, porém ainda se mantém os valores superiores de módulo de resiliência para as misturas com CAP 20. A introdução de asfaltos modificados por polímeros torna a camada de revestimento mais flexível. O mesmo foi observado com o asfalto convencional CAP 50/60 de Fazenda Alegre.

5. CONCLUSÕES

As deformações permanentes são menores em misturas do tipo SMA 0/8S utilizando ligante modificado por polímero com 6,5% de SBS, seguidas das misturas asfálticas com o asfalto convencional CAP 50/60 de Fazenda Alegre e do asfalto modificado por 3,0% de polímero SBS. Os ensaios de afundamento em trilha de roda mostram que o teor de 7,5% de CAP 20 empregado no trecho experimental da Rodovia Presidente Dutra é excessivo e o responsável, pelo menos em parte, pela macrotextura fechada nas trilhas de roda.

Na temperatura de 25°C, as misturas que demonstraram ser mais flexíveis foram as que empregaram ligante Fazenda Alegre, com valores de Módulo de Resiliência abaixo inclusive dos resultados obtidos em misturas que empregaram os ligantes modificados por polímeros (com 3,0% de SBS e com 6,5% de SBS). As misturas que empregaram os ligantes modificados por polímeros mostraram-se mais flexíveis a 25°C que aquelas que empregaram CAP 20.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT (2004) *NBR 15087 – Misturas asfálticas – Determinação da resistência à tração por compressão diametral*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.
- ASTM (1995) D 4123 – *Standard test method for indirect tension test for resilient modulus of bituminous mixtures*. American Society for Testing and Materials, EUA.
- Beligni, M.; D.F.Villibor e J.R. Cincerre, (2000) Misturas asfálticas do tipo SMA (Stone Mastic Asphalt): solução para revestimentos de pavimentos de rodovias e vias urbanas de tráfego intenso. *Anais do I Simpósio Internacional de Manutenção e Restauração de Pavimentos e Controle Tecnológico*, UPM, São Paulo, SP. 36p. 1 CD-ROM.
- Brousseau, Y. (2002) La methode de formulation des enrobes: presentation de la demarche, moyens d'essai, fidelite et pertinence de la methode. Communication au Brézil. *16.º Encontro de Asfalto*, Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás, Rio de Janeiro, RJ.
- Brousseau, Y; J.L. Delorme e R. Hiernaux (1993) Study of permanent deformations in asphalt with the help of the LCPC wheel tracking rutting tester: evaluation and future prospects. *72nd Annual Meeting*, Transportation Research Board, Washington, D.C.
- Brown, E. R. (1992) Experience with Stone Matrix Asphalt in the United States. *National Asphalt Pavement Association*, USA, March; NCAT Report No. 93-4.
- Chaves, J.M.; E. Moura; L.L.B. Bernucci e W. Alba (2002) Mistura asfáltica tipo SMA delgado em um trecho experimental de uma rodovia com elevado volume de tráfego. *16.º Encontro de Asfalto*, Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás, Rio de Janeiro, RJ. 11p. 1 CD-ROM.
- EAPA (1998). *Heavy Duty Surfaces: The arguments for SMA*. European Asphalt Pavement Association. Holanda, 40p.
- GEIPOT (2000) *Anuário estatístico dos transportes*. Disponível em: <http://www.geipot.gov.br>. Acesso em: 07 de maio de 2004.
- NAPA (1999) *Design and construction SMA mixtures – State of the practice*. National Asphalt Pavement Association, 1999. 43p.
- Reis, R.M.M.; L.L.B. Bernucci e A.L. Zanon (2002). *Revestimento asfático tipo SMA para alto desempenho em vias de tráfego pesado*. Capítulo 9, Transporte em Transformação, CNT, Brasília, D.F, v. VI. p 163-176.
- ZTV Asphalt – StB (2001) – *Zusaetzliche Technisch Vertragsbedingungen und Richtlinien fuer den Bau von Fahrbahndecken aus Asphalt*. Forschungsgeseelschaft fuer Strassen-und Verkehrswesen – Arbeitsgruppe Asphaltstrassen. Alemanha.