

AVALIAÇÃO DA DEFORMAÇÃO PERMANENTE E REDUÇÃO DA MACROTEXTURA DE REVESTIME S ASFÁLTICOS DELGADOS A QUENTE DO TIPO SMA 0/5

**Patrícia Nunes Ferreira
Liedi Légi Bariani Bernucci
Edson de Moura**

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

RESUMO

O presente trabalho trata da avaliação laboratorial da resistência à deformação permanente, da evolução da macrotextura e da resistência à tração por compressão diametral de uma mistura asfáltica descontínua tipo SMA 0/5 (faixa da especificação alemã). Para a composição da mistura foram utilizados dois tipos de ligantes: CAP 20 para a confecção da mistura de referência e um asfalto modificado por 6% de polímero SBS (AMP). De acordo com os ensaios executados observou-se que a mistura com AMP apresentou valores de resistência à tração e deformação permanente inferiores aos da mistura com CAP 20. A macrotextura das duas misturas foi classificada como de rugosidade média no ensaio de mancha de areia, havendo uma perda inferior ao limite de 50% após 3.000 ciclos no ensaio de afundamento no Simulador de Tráfego – LCPC, conforme recomendação européia.

ABSTRACT

This work presents a laboratory evaluation of the resistance to rutting, the macrotexture evolution and the indirect tensile strength of a gap graded asphalt mixture SMA 0/5 (German specification grade). For the mix design, two types of asphalt cements were used: AC 20 as a reference binder and a modified asphalt with 6% of SBS polymer (Pmb). According to the tests, the mixture using Pmb presented lowest values of indirect tensile strength and reduction on permanent deformation in comparison with AC 20 mix. The macrotexture of the two studied mixtures was classified as medium texture, using a sand patch test; both mixtures presented a loss of macrotexture lower than the limit of 50% after 3,000 cycles using the LCPC Wheel Tracking device, following European recommendations.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, há uma grande tendência, no meio rodoviário, em utilizar misturas asfálticas a quente descontínuas, ou seja, misturas cuja distribuição granulométrica apresentam *gaps* (brechas), havendo uma predominância de agregados graúdos e, portanto um maior contato grão/grão. Dentre as misturas descontínuas encontra-se o SMA, *Stone Matrix Asphalt* ou *Splittmastixasphalt* segundo a denominação alemã, que corresponde a uma mistura descontínua impermeável.

O SMA vem apresentando ao longo dos 40 anos de utilização vantagens que estimulam as pesquisas em vários países. No Brasil, há experiências apenas na aplicação de SMA nas faixas 0/8S e 0/11S (Beligni *et al.*, 2000; Reis *et al.*, 2003; Chaves *et al.*, 2002), não havendo registros sobre a faixa 0/5, que segundo a especificação alemã *ZTV Asphalt* é a faixa que admite agregados com menores dimensões, no máximo 5 mm.

Na Alemanha o SMA 0/5 é muito utilizado em vias urbanas, principalmente devido à sua capacidade de absorção do ruído e de proporcionar aderência pneu-pavimento. Embora os alemães empreguem geralmente essas misturas em vias com tráfego leve ou médio, não impede que seja estudada a possibilidade de submetê-las a um tráfego mais pesado. A espessura final da camada de SMA 0/5 varia entre 1,5 cm e 3,0 cm (*ZTV Asphalt – StB*, 2001).

Tendo em vista a inexistência de pesquisas sobre o SMA 0/5 no Brasil, neste trabalho serão expostos os resultados de um estudo laboratorial preliminar desse tipo de mistura asfáltica.

A dosagem se deu de acordo com a Metodologia Marshall adaptada pelo EAPA (1998). Porém, para misturas que constituem revestimentos delgados, o ensaio de deformação permanente realizado em Simulador de Tráfego de laboratório – LCPC também representa uma forma de aferir a dosagem pré-estabelecida, além de verificar a trilha de roda obtida ao final do ensaio.

Foi também avaliada a macrotextura da superfície das placas da mistura estudada, determinando-se a mancha de areia no início e no fim do ensaio de deformação permanente, conforme recomenda a prática francesa.

A resistência à tração por compressão diametral foi determinada com o objetivo de avaliar o desempenho dos dois tipos de ligante utilizados (CAP 20 e AMP modificado por 6% de polímero SBS).

2. SMA (STONE MATRIX ASPHALT)

O SMA teve sua origem na Alemanha no final da década de 60 para corrigir problemas de deformação permanente, ocasionados pelos pinos dos pneus de inverno. De acordo como a EAPA (1998), após 30 anos este pavimento ainda se encontrava em bom estado.

A primeira norma publicada sobre o SMA foi uma especificação alemã em 1994 (Erdlen, 2000). Após esta especificação muitos países começaram a utilizar o SMA e a desenvolver suas próprias especificações, existindo até mais de uma especificação no mesmo país, como é o caso dos Estados Unidos.

As misturas de SMA além de apresentar alta durabilidade, resistindo às solicitações do tráfego, possuem características superficiais (macrotextura) que aliadas à microtextura – propriedade referente à rugosidade superficial dos agregados – favorecem a aderência pneu-pavimento em dias chuvosos. A microtextura é garantida pela exigência de agregados cúbicos e com mais de 90% apresentando duas faces britadas.

A distribuição granulométrica descontínua do SMA condiciona a formação de um esqueleto mineral resistente devido principalmente à predominância de agregados graúdos (70% a 80%), de mesma dimensão, característica que dá origem a vazios que são preenchidos pelo mastique (fração areia + ligante + fíler + fibras). A utilização das fibras se faz necessária para evitar o escorrimto do ligante da mistura, uma que vez que a porcentagem adotada é sempre superior a 6,5%. A durabilidade do SMA na Alemanha varia de 12 a 20 anos.

Na Tabela 1 encontram-se as faixas granulométricas utilizadas na Alemanha. O SMA 0/5 é menos utilizado na Alemanha, embora tenha demonstrado sucesso onde já foi empregado. Os alemães reservam esse tipo de SMA para vias urbanas onde há uma maior exigência em relação aos níveis de ruído.

Na Tabela 2 encontra-se a especificação alemã mais recente, onde constam recomendações acerca dos materiais, da dosagem e da espessura da camada acabada.

Tabela 1: Faixas granulométricas de SMA – especificação alemã (EAPA, 1998)

Abertura da Peneira (mm)	SMA 0/11S	SMA 0/8S	SMA 0/8	SMA 0/5
< 0,09	9 a 13	10 a 13	8 a 13	8 a 13
> 2,00	73 a 80	73 a 80	70 a 80	60 a 70
> 5,00	60 a 70	55 a 70	45 a 75	≤10
> 8,00	≥ 40	≤10	≤10	-
> 11,20	≤10	-	-	-

(*) valores na Tabela fornecidos em porcentagem

Tabela 2: Especificação Alemã (ZTV Asphalt – StB, 2001)

Característica	SMA 0/11S	SMA 0/8S	SMA 0/8	SMA 0/5
Tipo de ligante asfáltico ⁽¹⁾	B 65 ou PmB 45	B 65 ou PmB 45	B 80	B 80 ou B 200
% de ligante asfáltico na mistura(em peso)	≥ 6,5	≥ 7,0	≥ 7,0	≥ 7,2
% Fibras na mistura (em peso)	0,3 a 1,5			
Dosagem Marshall				
Temperatura de compactação (°C)	135 ± 5 (Para PmB deve ser 145 ± 5)			
Volume de vazios (%)	3,0 a 4,0	3,0 a 4,0	2,0 a 4,0	2,0 a 4,0
Camada de rolamento				
Espessura (cm)	3,5 a 4,0	3,0 a 4,0	2,0 a 4,0	1,5 a 3,0
Consumo em kg/m ²	85 a 100	70 a 100	45 a 100	35 a 75
Camada de reperfilagem ⁽²⁾				
Espessura (cm)	2,5 a 5,0	2,0 a 4,0	-	-
Consumo em kg/m ²	60 a 125	45 a 100	-	-
Grau de compactação da camada de SMA	≥ 97 %			
Volume de vazios da camada compactada	≤ 6,0 %			

⁽¹⁾ Asfaltos modificados por polímeros são recomendados para solicitações especiais

⁽²⁾ Camadas de rolamento sobre camada intermediária ou inferior com problemas geométricos.

3. ESTUDO EXPERIMENTAL

Inicialmente, foram escolhidos os materiais pétreos necessários à obtenção de uma composição granulométrica que atendesse as especificações alemãs para o SMA 0/5, bem como os ligantes e fibras.

Nesta fase, inclui-se também a dosagem da mistura de SMA por meio do Método Marshall adaptado pela EAPA (1998), determinando o teor ótimo de ligante tanto para os corpos-de-prova submetidos ao ensaio de resistência à tração por compressão diametral quanto para as placas utilizadas para determinar a deformação permanente no Simulador de Tráfego – LCPC, nas quais foram feitas as avaliações da macrotextura.

3.1. Agregados

Os agregados utilizados são de origem granítica, britados, apresentando forma cúbica e cujas propriedades atendem aos limites contidos na Tabela 3.

Tabela 3: Características dos Agregados (NAPA,1999)

Ensaio	Especificação
Abrasão Los Angeles , %	< 30
Índice de forma do agregado graúdo	< 3 rel 3/1
Absorção de água, %	≤ 2
Durabilidade no Sulfato de Sódio (5 ciclos), %	≤ 15
Faces Britadas	2 faces (95%) e 1 face (100%)

A curva granulométrica foi obtida utilizando-se Pedrisco 00, Pó de Pedra Integral, Pó de Pedra Fundo e Fíler Mineral, sendo este último composto por uma porção de material passante na peneira N° 200 - proveniente do peneiramento do Pó de Pedra Fundo – e de Cal Hidratada CH1. A Tabela 4 mostra a porcentagem de cada material na composição da curva granulométrica do SMA 0/5 deste estudo, ilustrada na Figura 1.

Tabela 4: Composição dos materiais utilizados para a obtenção do traço

Material	Porcentagem
Pedrisco 00	66
Pó de Pedra Integral	17
Pó de Pedra fundo	13,5
Fíler	2,5
Cal CHI	1,0

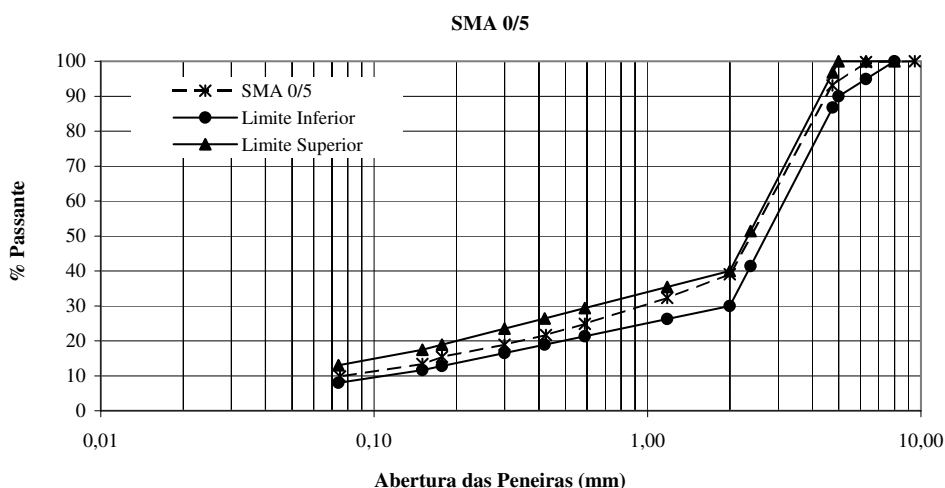


Figura 1: Curva granulométrica obtida do SMA 0/5

3.2. Fibras

As fibras têm a função de evitar o escorrimento do ligante asfáltico durante a usinagem, transporte e aplicação, podendo ser de celulose ou fibra de vidro (NAPA, 1999). As fibras de celulose em *pellets* são preferencialmente utilizadas, pois quando aquecidas abrem-se formando uma microarmadura (reticulado tridimensional) aumentando a coesão do sistema (Beligni *et al.*, 2000).

Nas misturas deste trabalho foram utilizadas fibras de celulose do tipo VIATOP 66 em forma de *pellets* (granulares) impregnadas por material betuminoso. As proporções foram de 0,5% e 0,45% para as misturas com CAP 20 e AMP, respectivamente.

3.3. Ligantes asfálticos

Os ligantes asfálticos utilizados foram o CAP 20 e o AMP, sendo este último modificado por 6% do polímero SBS (Estireno-Butadieno-Estireno). A caracterização dos ligantes encontra-se na Tabela 5.

Tabela 5: Caracterização dos ligantes asfálticos CAP 20 e AMP

Ensaio	CAP-20	AMP
Ponto de amolecimento (°C)	50,0	78,0
Penetração (dmm)	51	53
Índice de suscetibilidade térmica	- 1,0	3,8
Viscosidade a 60°C (P)	2730,0	-
Viscosidade a 175°C (cP)	70,0	300,0
Recuperação elástica a 25°C (%)	-	88,0
Estabilidade ao armazenamento, 163 °C, 5 dias (°C)	-	1,0

As misturas com CAP 20 correspondem às misturas de referência, pois o mesmo é um dos ligantes asfálticos convencionais mais utilizados na Região Sudeste, servindo para avaliar se os ganhos na utilização de modificadores são representativos, qualitativa (desempenho geral) e quantitativamente (custo/benefício).

O principal motivo em adicionar polímeros aos ligantes convencionais é a modificação de propriedades das misturas por meio do ligante, fazendo com que apresentem um melhor desempenho quando expostas ao tráfego e às intempéries. Além disso, o SMA 0/5 apresenta uma distribuição granulométrica descontínua, fazendo-se vantajosa a utilização de asfaltos modificados.

Segundo Brulé, 1996 (*apud* Taira *et al.*, 2003), um ligante modificado ideal deve melhorar o comportamento da mistura em serviço, sua suscetibilidade ao tempo de aplicação de carga deve ser baixa, enquanto a resistência à deformação permanente (em altas temperaturas) e a resistência a trincas térmicas (em baixas temperaturas) e de fadiga devem ser altas, mantendo-se, no mínimo, as mesmas qualidades de adesão dos ligantes convencionais.

O SBS é um polímero elastômero-termoplástico e, quando adicionado ao ligante asfáltico diminui o ponto de ruptura Fraass da mistura, conferindo-lhe elasticidade até temperaturas bem abaixo daquela correspondente à ruptura vítrea do CAP puro. Em temperaturas muito altas, que ultrapassem significativamente o ponto de amolecimento do CAP puro, quando ele se apresenta com fluxo praticamente viscoso, o SBS forma uma malha que envolve o ligante fluido, mantendo alta consistência no sistema (DNER, 1998).

3.4. Dosagem das misturas

A determinação do teor ótimo de ligante foi obtido por meio do Método Marshall (ME 043/95), inicialmente com os teores de 6%, 6,5%, 7% e 7,5% para os dois tipos de ligante, moldando-se e compactando-se corpos de prova cilíndricos com energia de compactação de 50 golpes por face.

A partir das determinações dos parâmetros Marshall (Tabela 6) obteve-se, fixando o volume de vazios em 3%, o teor ótimo de ligante igual a 6,8% para o CAP 20 e 6,6% para o AMP. As temperaturas de usinagem e compactação dos corpos de prova foram de 165 °C e 150 °C para o CAP 20 e de 170 °C e 155 °C para o AMP.

Esperava-se que os teores de CAP 20 e de AMP fossem semelhantes ou que o teor de AMP fosse um pouco superior. Porém, ocorreu o contrário, verificando-se um acréscimo de 0,2% no teor de CAP 20. Este fato pode ser devido às temperaturas de usinagem e compactação, fornecidas pelo fabricante, não serem as mais adequadas.

Tabela 6: Parâmetros Marshall

Ligante	Teor de ligante	Dap	Vv	VAM	RBV	Estabilidade	Fluência
Asfáltico	%	(kN/m ³)	(%)	(%)	(%)	Marshall (N)	(0,01mm)
CAP 20	6,0	22,94	6,3	19,8	68,2	10435	4,0
AMP		22,97	6,3	19,7	68,0	9789	4,5
CAP 20	6,5	23,31	4,1	18,9	78,4	10526	4,0
AMP		23,44	3,7	18,5	79,9	11922	5,0
CAP 20	7,0	23,54	2,4	18,6	86,9	10446	4,3
AMP		23,62	2,3	18,3	87,7	11331	5,3
CAP 20	7,5	23,63	1,4	18,7	92,7	10479	4,9
AMP		23,45	2,3	19,3	88,2	9924	5,5

Há uma grande exigência em relação às propriedades volumétricas do SMA para garantir o contato entre os grãos e o intertravamento entre os mesmos, originando um esqueleto mineral resistente. Portanto, as especificações de dosagem do SMA (NAPA, 1999) estabelecem que a porcentagem de vazios no agregado graúdo - %VCAdrc deve ser pelo menos o triplo da porcentagem de agregado graúdo na mistura - %VCAmix, como mostra a Tabela 7.

Tabela 7: Especificações para a dosagem a mistura SMA (NAPA, 1999)

Propriedade	Especificação
Teor de ligante asfáltico, %	6, 0 (pode ser superior caso a densidade do agregado supere 2,750)
% vazios	3,5 a 4,0
Fluência, 0,01 in	8,0 a 16,0
VAM min, %	17,0
VCA mix, %, máx	VCA drc
Estabilidade, kgf, min	650 (experiência americana)
RRT, %, min	70,0
Escorrimento, %, máx	0,3

3.5. Ensaio de resistência à tração por compressão diametral

A resistência à tração por compressão diametral (RT) das misturas estudadas foi determinada segundo o Método de Ensaio DNER-ME 138/94. O ensaio consiste em romper um corpo de prova cilíndrico a 25 °C, moldado e compactado de acordo com a Metodologia Marshall, segundo o plano diametral vertical com a aplicação de uma carga progressiva a velocidade de $0,8 \pm 0,1$ mm/s. A obtenção da tensão de ruptura se deu utilizando-se uma prensa de compressão (Prensa Marshall), instalada no Laboratório de Tecnologia de Pavimentação (LTP-USP).

No contexto do trabalho este ensaio tem a função de verificar a influência do tipo de ligante asfáltico na resistência à tração das misturas, como pode ser observado na Tabela 8.

Tabela 8: Resultados de resistência à tração por compressão diametral

CAP 20 - 6,8%		AMP (6%SBS) - 6,6%	
Amostra	RT (MPa)	Amostra	RT (MPa)
1	1,87	1	1,08
2	1,77	2	1,16
3	1,76	3	1,12
4	1,88	4	1,05
RTmédio	1,82	RTmédio	1,10

De acordo com os valores obtidos no ensaio é possível observar que as amostras com CAP 20 apresentaram maior resistência, fato que se deve à temperatura de ensaio (25°C).

3.6. Ensaio de deformação permanente - Simulador de Tráfego LCPC

Antes da execução do ensaio que avalia a deformação permanente, compactaram-se as placas que foram acondicionadas no Simulador de Tráfego – LCPC. As placas têm dimensões de 50 mm de espessura x 180 mm de largura x 500 mm de comprimento e foram compactadas pela rolagem de um pneu de dimensões padronizadas, na Mesa Compactadora – LCPC do LTP/USP, de acordo com a norma NFP 98 250-2 (1997).

O ensaio no Simulador de Tráfego foi executado seguindo as recomendações da norma NF P 98 253-1 (1991) e consiste em submeter pares de placas da mistura estudada, a ciclos de passagem (ida e volta) de um pneu com pressão de 6 bar, a uma frequência de 1 Hz e carga de 5.000 N, com temperatura de ensaio igual a 60 °C.

Para a mistura objeto deste trabalho foram feitas medidas até 3.000 ciclos admitindo-se, segundo a metodologia francesa, uma porcentagem de até 15% de afundamento, o que se justifica pelo caráter primordialmente funcional dos revestimentos delgados.

O gráfico contido na Figura 2 mostra o afundamento ao final de 3.000 ciclos para as misturas com CAP 20 e AMP, observando-se que a mistura com CAP 20 apresentou uma deformação média mais elevada, 6,7%, correspondendo a 3,34 mm. Já a mistura com AMP deformou 4,0%, 2,01 mm dos 50 mm de espessura da placa ensaiada.

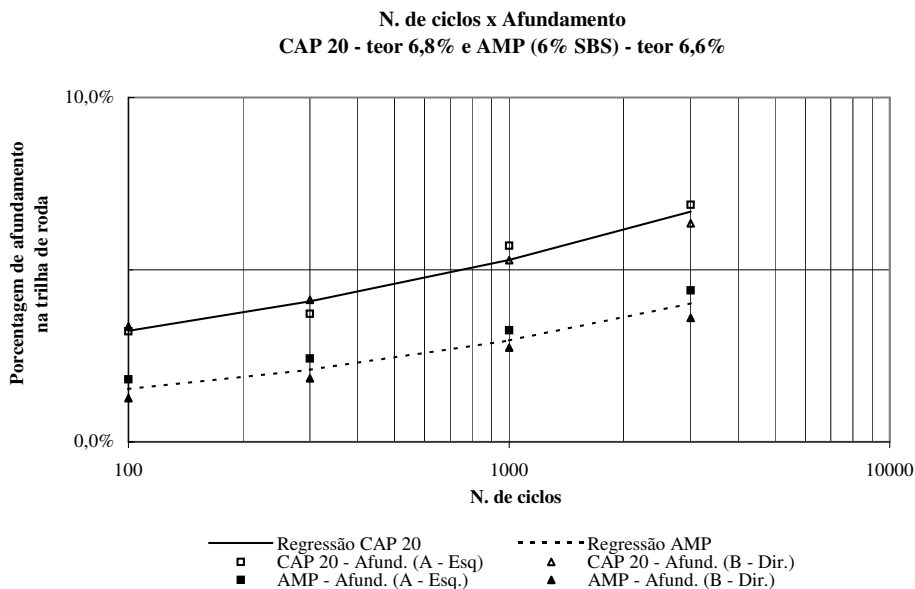


Figura 2: Deformação permanente na mistura de SMA 0/5 com CAP 20 e AMP

Na Figura 3 é possível visualizar com maior facilidade o afundamento ocorrido nas misturas, onde mostram fatias da parte central das placas.

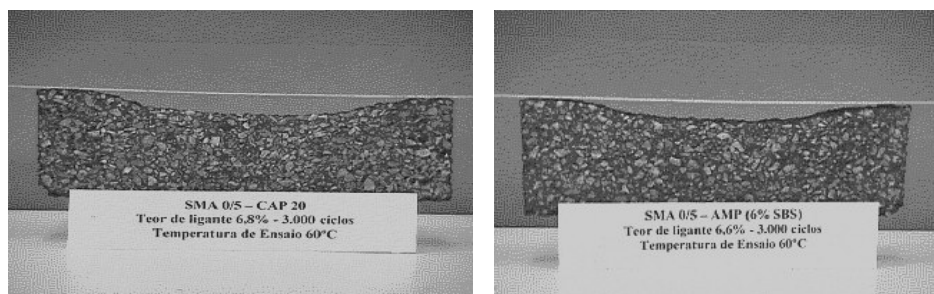


Figura 3: Amostras serradas da parte central das placas das misturas com CAP 20 e AMP

3.7 Avaliação da Macrotextura

A macrotextura é uma característica relacionada à dimensão e distribuição dos granulares no concreto asfáltico. Também é influenciada pela execução da camada de revestimento em campo (compactação) e ao eventual tratamento superficial. É responsável pela aderência a médias e a altas velocidades em pavimentos molhados, facilitando o escoamento da água encontrada entre o pneu e a superfície, contribuindo para restabelecer o contato, mesmo que parcialmente.

A evolução da macrotextura é uma das formas de avaliar o desempenho de um dos fatores que contribui para a aderência pneu-pavimento e escoamento superficial, que por consequência garantem a segurança do usuário da via.

Esta avaliação é fundamental para determinar o período em que a macrotextura é suficiente para proporcionar um tráfego seguro, no que diz respeito a esta propriedade.

A avaliação da macrotextura pode ser feita por meio do Método da Mancha de Areia (NFP 216-1), podendo-se classificar a textura do revestimento asfáltico. O método consiste em espalhar um volume conhecido de areia (25cm^3) com movimentos circulares sobre o revestimento, medindo o diâmetro do círculo resultante do espalhamento.

O quociente da área do círculo resultante pelo volume de areia é denominado altura de areia (*HS - hauteur au sable*), a partir do qual classifica-se a textura. Pode-se afirmar que quanto maior o diâmetro do círculo resultante, menor será a altura de areia e, conseqüentemente, menos rugosa será a superfície do revestimento.

Para determinar a redução da macrotextura das placas, submetidas ao Simulador de Tráfego, determinou-se a altura de areia no ciclo 0 (HS_i) e ao final do ensaio, que corresponde aos 3.000 ciclos (HS_{3000}). Neste caso particular, onde se executou o ensaio em placas foi necessário reduzir à metade o volume de areia, seguindo a experiência francesa nesse tipo de avaliação. Para misturas descontínuas empregadas em revestimentos delgados, após 3.000 ciclos adota-se a relação $(HS_i - HS_{3000}) / HS_i \leq 0,50$, ou seja, uma redução inferior a 50%.

Como pode ser observado nas Figuras 4 e 5, a forma da mancha resultante do espalhamento mudou com o número de ciclos, devido ao afundamento e formação das trilhas de roda.



Figura 4: Mancha de Areia no ciclo 0

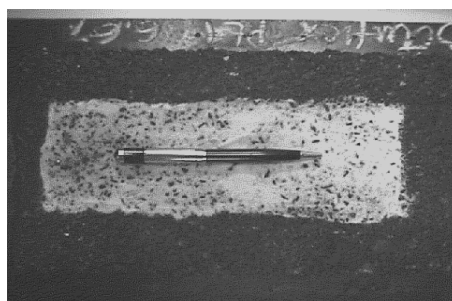


Figura 5: Mancha de areia ao final do ensaio

Na Tabela 9 encontram-se a classificação e a redução da macrotextura após os 3.000 ciclos. Todas as misturas tiveram sua textura superficial classificada como média e redução da macrotextura inferior a 50%.

Tabela 9: Resultados de mancha de areia e classificação da macrotextura

CAP 20 (6,8%)				
Ciclos	Placa 1 - HS (mm)	Placa 2 - HS (mm)	Classificação Textura	Redução da Macrotextura
0	0,53	0,49	Rugosidade Média	16%
3000	0,41	0,44	Rugosidade Média	
AMP (6,6%)				
0	0,57	0,60	Rugosidade Média	4%
3000	0,54	0,58	Rugosidade Média	

4. CONCLUSÕES

Os valores da resistência à tração mostraram que o CAP 20 apresentou um comportamento superior ao AMP, nas condições de ensaio consideradas (temperatura de 25°C). Os AMP apresentam maior deformação até a ruptura, não se observando, após a mesma, uma queda brusca da resistência, sendo, portanto, conservada. O comportamento estrutural deve ser analisado não somente pela resistência à tração no ensaio de compressão diametral, mas por diversas propriedades, como o módulo de resiliência e a resistência à fadiga. Vale lembrar que devido à espessura reduzida que deve ser aplicado o SMA 0/5 e à existência obrigatória de camadas asfálticas intermediárias – situadas logo abaixo do revestimento – as tensões de tração não terão muita influência no comportamento estrutural do SMA 0/5.

Para as duas misturas, a porcentagem de afundamento na trilha de roda foi inferior ao valor recomendado (15%) após os 3.000 ciclos no Simulador de Tráfego – LCPC. A recuperação elástica e a menor susceptibilidade térmica do AMP colaboraram para a mistura apresentar o menor afundamento (4,0%) em relação à mistura com CAP 20 (6,7%). Embora o CAP 20 atenda às recomendações de limite de deformação permanente, o uso de camadas delgadas para tráfego pesado na Europa tem requerido o emprego de AMP, com o objetivo principal de reduzir os problemas de desagregação devido à pequena espessura.

A redução da macrotextura após os 3.000 ciclos foi mais evidente no SMA 0/5 com CAP 20, provavelmente devido a maior sensibilidade do ligante à temperatura, que com a evolução do ensaio acabou por “fechar” a macrotextura da placa. Apesar de ter-se observado na mistura com AMP um pequeno descolamento dos agregados em uma das placas, possivelmente ocasionado por uma segregação pontual, esta mistura apresentou uma pequena redução média da macrotextura (4,0%).

Finalmente, baseados nesta primeira análise laboratorial, o SMA 0/5 apresentou resultados que condizem com desempenho esperado para este tipo de mistura, sendo este trabalho apenas o ponto de partida.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Pedreira SARGON S/A, à Ipiranga Asfaltos S/A e à FAPESP (Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado de São Paulo) pelo apoio financeiro à primeira autora.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AFNOR-NF-P-98-216-1, (1991), *Essais Relatifs aux Chaussées – Détermination de la Macrotexture, Partie 1: Essai de Hauteur au Sable Vraie (HSv)*, Association Française de Normalisation, Afnor, França.
- AFNOR-NF-P-98-253-1, (1993), *Essais Relatifs aux Chaussées - Déformation Permanente des Mélanges Hydrocarbonés, Partie 1: Essai d'Orniérage*, Association Française de Normalisation, Afnor, França.
- AFNOR-NF-P-98-250-2, (1997), *Essais Relatifs aux Chaussées - Préparation des Mélanges Hydrocarbonés, Partie 2: Compactage des Plaques*, Association Française de Normalisation, Afnor, França.

- Beligni, M; D. F. Villibor e J. R. Cincerre (2000) Mistura Asfáltica do Tipo SMA (Stone Matrix Asphalt): Solução para Revestimentos de Pavimentos de Rodovias e Vias Urbanas de Tráfego Intenso. *Simpósio Internacional de Manutenção e Restauração de Pavimentos e Controle Tecnológico*. São Paulo, SP.
- Chaves, J. M.; E. Moura e L. B. Bernucci., (1994), Mistura Asfáltica Tipo SMA Delgado em um Trecho Experimental de uma Rodovia com Elevado Volume de Tráfego. *16º Encontro de Asfalto - IBP*, Rio de Janeiro, RJ.
- DNER- Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (1994) *Método de Ensaio DNER-ME 138/94. Misturas Betuminosas – Determinação da Resistência à Tração por Compressão Diametral*. Rio de Janeiro, DNER.
- DNER- Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (1995) *Método de Ensaio DNER-ME 43/95. Misturas Betuminosas – Método Marshall*. Rio de Janeiro, DNER.
- DNER- Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (1998) *Pesquisa de Asfaltos Modificados por Polímeros – Relatório Final – Tomo I*. Rio de Janeiro, DNER.
- EAPA (1998). Heavy Duty Surfaces: The Arguments for SMA. *European Asphalt Pavement Association*, Holanda.
- Erdlen, H. (2000). Stone Mastic Asphalt – Pavement Technology. *15º Encontro do Asfalto IBP*, Dezembro, Rio de Janeiro, RJ.
- NAPA (1999). Quality Improvement Series 122 – Designing and Constructing SMA Mixtures – State - of - the Practice. *National Asphalt Pavement Association, USA*.
- Reis, R. M; L. B. Bernucci e A. L. Zanon (2002) Revestimento Asfáltico Tipo SMA para Alto Desempenho em Vias de Tráfego Pesado. *Transporte em transformação VI – Trabalhos Vencedores do Prêmio CNT Produção Acadêmica 2001*. CNT – Confederação Nacional do Transporte, ANPET - Associação Nacional de Pesquisa e Ensino em Transporte, Brasília, p. 163-176.
- Taira, C.; A. P. Furlan. e G. T. P. Fabbri (2003) Efeito do Asfalto Modificado com Polímero nas Propriedades Mecânicas de Misturas Asfálticas Densas. *XVII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, ANPET*, Rio de Janeiro.
- ZTV Asphalt – StB (2001). Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Fahrbahndecken aus Asphalt. *Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen. Köln, Alemanha*.

Endereço dos Autores:

Universidade de São Paulo
Escola Politécnica – Departamento de Transportes
Av. Prof. Almeida Prado – Travessa 2, nº 83
Cidade Universitária – São Paulo
CEP 05508-000
Liedi Légi Bariani Bernucci
Patrícia Nunes Ferreira
Edson de Moura

Fone: (11) 3091 6090
Fax: (11) 3091 5716

E-mail: liedi@usp.br
E-mail: patricia.ferreira1@poli.usp.br
E-mail: edmoura@usp.br

Capítulo 2

Solo, Concreto e Materiais Alternativos

