

ESTUDO DE REVESTIMENTO ASFÁLTICO SMA 0/8S UTILIZADO EM TRECHO EXPERIMENTAL

Patricia Barboza da Silva
Liedi Légi Bariani Bernucci
Edson de Moura

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

Leni Figueiredo Mathias Leite
Centro de Pesquisas da PETROBRAS
Valéria Faria
Concessionária Nova Dutra

RESUMO

O artigo apresenta um estudo realizado em revestimento asfáltico delgado do tipo SMA 0/8S com CAP 20 e teor de 7,5% de ligante, aplicado num trecho experimental executado por uma concessionária paulista em rodovia com elevado volume de tráfego. Alguns defeitos ocorridos no revestimento após curto período de conclusão da obra motivaram a execução de ensaios em campo no trecho experimental e a reprodução da mistura utilizada para a realização de ensaios de deformação permanente em laboratório na tentativa de compreender as patologias. Os ensaios em campo demonstraram que após 2 anos e 7 meses de operação o revestimento do trecho experimental apresenta alguns defeitos como fechamento da macrotextura nas trilhas de roda e diminuição do conforto ao rolamento. Nos ensaios de deformação permanente verificou-se que o teor de ligante é excessivo e somado à diminuta espessura utilizada e ao uso de ligante convencional pode explicar parte dos problemas ocorridos.

ABSTRACT

The paper presents a study conducted on a thin asphalt wearing course of SMA 0/8S with 7.5% of AC 20 type, applied in a test section executed by a Sao Paulo utility in an intense traffic highway. Some distresses which occurred in the wearing course shortly after the conclusion of the workmanship motivated the conduction of tests in field at the test section and the reproduction of the mixture used for the tests of rutting in laboratory in an attempt to understand the pathology. The field tests showed that after 2 years and 7 months of operation, the wearing course at the test section presents some distresses such as reduction of the macrotexture at the wheel tracks and a slight decrease in riding quality. In the rutting tests, it was verified that the extreme quantity of asphalt added to the slight thickness used and the use of conventional asphalt can explain part of the problems that occurred.

1. INTRODUÇÃO

De acordo com NAPA (1999) o SMA (*Stone Matrix Asphalt* – Matriz Pétreas Asfáltica) é um revestimento asfáltico a quente de granulometria descontínua concebido para maximizar o contato entre os grãos da fração graúda do agregado, aumentando a resistência à ação do tráfego. Por decorrência da graduação, emprega uma quantidade elevada de ligante asfáltico (com teores acima de 6,0%) o que proporciona maior durabilidade da mistura e a torna impermeável. Outro ponto positivo deste tipo de revestimento é 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 àqueles imediatamente sucessores; fator que deve ser levado em conta por contribuir para um aumento considerável na segurança dos usuários.

Em 2002 uma concessionária paulista executou um trecho experimental empregando revestimento asfáltico delgado do tipo SMA na faixa alemã 0/8S utilizando asfalto do tipo CAP 20, com a finalidade de melhorar as características de aderência e de conforto ao rolamento do segmento em questão. A ocorrência de alguns defeitos na superfície do revestimento deste trecho experimental motivou a execução de avaliações funcionais e de aderência do revestimento, além da realização de ensaios de deformação permanente em

laboratório na tentativa de determinar quais seriam os motivos dessas ocorrências relacionados à mistura.

2. ESPECIFICAÇÃO DO SMA 0/8S

Existem na atualidade numerosas normas e especificações de SMA, seja na Europa, como nos Estados Unidos e Canadá, além daquelas nos países orientais. Para este trabalho foi considerada a norma alemã ZTV Asphalt – StB (2001) que indica quatro faixas granulométricas: 0/11S, 0/8S, 0/8 e 0/5, considerando os números como sendo de fíler até o diâmetro máximo nominal. Por exemplo, 0/8S significa que as frações que constituem a faixa vão desde os finos até no máximo 10% de material que fica retido na peneira de abertura 8 mm, considerado o diâmetro máximo nominal. As faixas seguidas da letra “S” são indicadas para tráfego pesado e/ou solicitações especiais. A tabela 1 traz os valores especificados para a faixa granulométrica alemã 0/8S.

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

Peneira (% em massa)	SMA 0/8S
< 0,09 mm	10 a 13
> 2 mm	73 a 80
> 5 mm	55 a 70
> 8 mm	≤ 10
> 11,2 mm	-

A especificação alemã traz ainda referências sobre os asfaltos, as fibras, dosagem e camada acabada, a tabela 2 apresenta essas características para o SMA 0/8S.

Tabela 2: Características complementares do SMA 0/8S pela especificação alemã (ZTV Asphalt – StB 94, 2001)

Característica/Requisito	SMA 0/8S
Tipo de Asfalto ^(a)	B65 ou PmB 45
% em peso de asfalto na mistura	≥ 7,0
Fibras (% em peso na mistura)	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
Camada de rolamento	
Espessura (cm)	3,0 a 4,0
Ou consumo em Kg/m ²	70 a 100
Camada de reperfilagem ^(b)	
Espessura (cm)	2,0 a 4,0
Ou consumo em kg/m ²	45 a 100
Grau de compactação da camada de SMA	≥ 97%
Volume de vazios da camada compactada	< 6,0%

(a) Os asfaltos polímeros (PmB 45) são recomendados para solicitações especiais

(b) São camadas construídas para acerto de conformação geométrica.

As características de projeto foram determinadas segundo a especificação da *National Asphalt Pavement Association– NAPA* (1999) para corpos-de-prova compactados pelo método

Marshall com 50 golpes por face, os valores requeridos por essa especificação constam da tabela 3.

Tabela 3: Especificação para misturas SMA utilizando método Marshall (NAPA, 1999)

Propriedade	Requerido
Cimento Asfáltico, %	6 mín.
% de Vazios com ar	4 ^(a)
VAM, %	17 mín.
% VCA _{MIX}	Menor que VCA _{DRC}
Estabilidade, N	6200 (1400 lb.) mín. ^(b)
RTR, % ^(c)	70 mín.
Escorrimento na temperatura de usinagem, % ^(d)	0,3 máx.

^(a) Para locais de clima frio a % de vazios com ar pode ser utilizada em torno de 3,5%;

^(b) Sugestão de valor baseado na experiência;

^(c) RTR – resistência à tração retida (segundo AASHTO 283);

^(d) Escorrimento segundo AASHTO T 305-97.

3. TRECHO EXPERIMENTAL

Em julho de 2002 foi executado por uma concessionária paulista em uma rodovia com elevado volume de tráfego, um trecho experimental com revestimento asfáltico a quente tipo SMA, na faixa alemã 0/8S, empregando ligante asfáltico do tipo CAP 20, com teor de projeto de 7,5% (CHAVES *et al.*, 2002).

Este trecho tem extensão de 830,0 m, compreende duas faixas de rolamento e foi executado em um local da rodovia que apresenta atualmente volume médio diário de tráfego de 26118 veículos, sendo 29% de caminhões e 4% ônibus.

Como citado anteriormente, a execução do trecho teve como principal finalidade a melhoria funcional do revestimento, ou seja, aumento da segurança em pista molhada e conforto ao rolamento, assim, a opção foi pela aplicação de um revestimento delgado com espessura média em torno de 2,0 cm.

3.1. Dosagem da mistura SMA 0/8S empregada como revestimento no trecho experimental

A dosagem foi desenvolvida pela concessionária e compreendeu basicamente os seguintes passos: seleção dos agregados, determinação da distribuição granulométrica, determinação dos parâmetros volumétricos que assegurassem o contato entre os grãos da fração graúda do agregado, determinação do teor de ligante que proporcionasse a quantidade de vazios desejada (aproximadamente 4,0%), avaliação da suscetibilidade da mistura à umidade e da sensibilidade do ligante ao escorrimento (CHAVES *et al.*, 2002). A Figura 1 apresenta a faixa alemã 0/8S e a curva granulométrica empregada, a Tabela 4 apresenta a composição da mistura utilizada; os resultados dos parâmetros determinados na dosagem da mistura SMA 0/8S são apresentados na tabela 5.

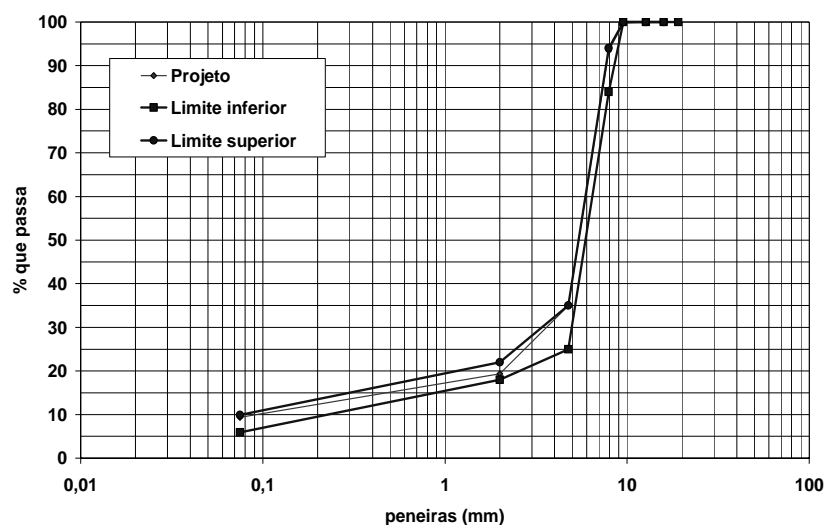


Figura 1: Faixa granulométrica 0/8S e graduação empregada na mistura utilizada como revestimento do trecho experimental

Tabela 4: Composição da mistura SMA 0/8S empregada no trecho experimental (CHAVES *et al.*, 2002)

Material	Mistura seca (%)	Mistura com ligante (%)
Pedrisco	73,67	68,14
Pó de pedra	18,91	17,49
Fibra de celulose	0,45	0,42
Fíler mineral	4,98	4,61
Cal CH-1	1,99	1,84
CAP 20	-	7,5

Tabela 5: Resultados obtidos na dosagem Marshall e ensaios complementares para o SMA 0/8S empregado no trecho experimental (CHAVES *et al.*, 2002)

Parâmetros	Resultados
Densidade aparente, kN/m^3	22,69
Densidade máxima teórica, kN/m^3	23,72
Estabilidade Marshall, N	7065
Vazios do agregado (VAM), %	20,7
Vazios da fração graúda do agregado na mistura compactada, VCA_{MIX} , %	36,4
Vazios da fração graúdo do agregado compactado, VCA_{DRC} , %	45,4
Volume de vazios, %	4,3
Escorrimento, %	0,14
Resistência à tração por compressão diametral, MPa	1,4
Cal CH-1, %	1,84
Teor de projeto de asfalto, %	7,5

2.2. Problemas ocorridos na usinagem e após a execução do trecho

Durante a produção da mistura empregada no trecho, ocorreu uma falha na alimentação de fibras na usina, o que foi percebido após algum tempo, porém uma quantidade razoável de mistura já havia sido produzida e transportada para aplicação na pista. Após a aplicação e compactação da camada, já era possível observar algumas pequenas manchas de exsudação da

mistura, como pode ser observado na Figura 2; a Figura 3 apresenta um dos locais do trecho experimental com a ocorrência de exsudação após 2 anos e 7 meses de serviço.



Figura 2: Exsudação ocorrida na superfície do revestimento logo após a conclusão do trecho (julho/2002)

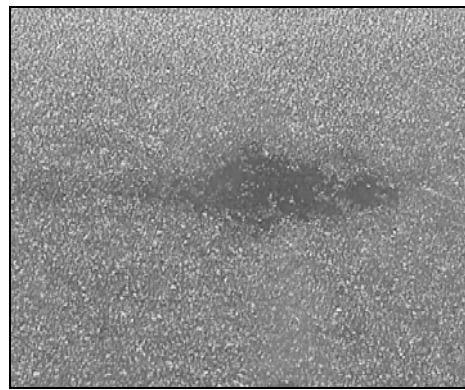


Figura 3: Exsudação e desgaste superficial no revestimento do trecho após 2 anos e 7 meses de serviço (fevereiro/2005)

Apesar de todos os cuidados tomados na dosagem e produção da mistura e durante a execução da camada, decorrido pouco tempo de abertura ao tráfego, observou-se a ocorrência de pequenos pontos de desagregação e de fechamento da macrotextura do revestimento nas trilhas de roda, demonstrando um comportamento aquém do que era esperado. A Figura 4 mostra um detalhe da mistura SMA imediatamente após a sua aplicação no trecho experimental, evidenciando sua macrotextura superficial grosseira; em contrapartida a Figura 5 apresenta a macrotextura superficial fechada nas trilhas de roda após 2 anos e 7 meses da conclusão do trecho.



Figura 4: Textura superficial do SMA após o término da compactação (julho/2002)

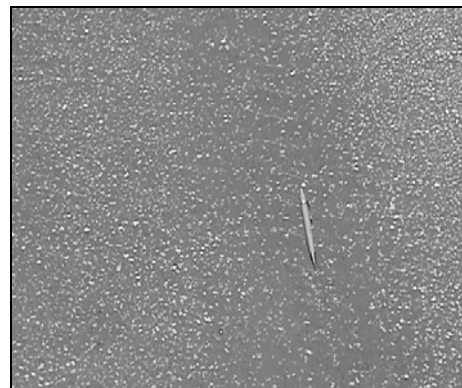


Figura 5: Fechamento da macrotextura superficial na trilha de rodas (fevereiro/2005)

3. ESTUDOS REALIZADOS EM CAMPO

Após a conclusão do trecho foram realizadas, pela concessionária, avaliações subjetiva (DNER-PRO 007/94) para determinação do Valor de Serventia Atual, e objetiva (DNER-PRO 008/94) para determinação do Índice de Gravidade Global (IGG) em toda a extensão do trecho; ensaios de mancha de areia (ASTM E 965 – 01) foram conduzidos em seis pontos distribuídos aleatoriamente pela superfície do trecho. Os resultados dessas avaliações foram

publicados em CHAVES *et al.* (2002). O conceito obtido na avaliação subjetiva foi de *ótimo* e na objetiva de *bom*; não há registros dos valores de VSA e IGG que geraram tais conceitos.

A tabela 6 traz os resultados dos ensaios de mancha de areia realizados logo após a conclusão do trecho experimental em 6 pontos distribuídos aleatoriamente pelo segmento; não há registros sobre os locais exatos de realização dos ensaios.

Tabela 6: Resultados dos ensaios de mancha de areia realizados após a conclusão do trecho (CHAVES *et al.*, 2002)

Ponto	HS (mm)	Macrotextura
01	1,20	muito grosseira
02	1,50	muito grosseira
03	1,10	grosseira
04	1,60	muito grosseira
05	1,40	muito grosseira
06	1,10	grosseira

Observando-se os resultados dos ensaios de campo realizados logo após a conclusão do trecho e publicados em CHAVES *et al.* (2002), verifica-se que a superfície do SMA apresentava ótimas condições funcionais como mostra a classificação pelo valor de serventia atual (VSA) e boas condições de superfície como mostra a classificação dada pelo IGG.

Os resultados dos ensaios de mancha de areia apresentaram valores de HS variando de 1,10 mm a 1,60 mm (macrotextura superficial de grosseira a muito grosseira), ou seja, ora dentro do normalmente requerido (0,6 a 1,2 mm) ora mais grosseiro do que o desejável, promovendo possivelmente muito ruído ao rolamento.

Decorridos 2 anos e 7 meses de operação, foram realizados pelo LTP-EPUSP novas avaliações em campo no trecho experimental. A tabela 7 apresenta os resultados obtidos na avaliação objetiva (IGG) realizada para verificar o grau de deterioração da superfície do revestimento; e o valor de IRI (*International Roughness Index*) obtido com o equipamento MERLIN (*Machine Evaluation Roughness using Low Coast Instrumentation* – Máquina para avaliação da irregularidade utilizando instrumento de baixo custo), empregado para avaliar o conforto ao rolamento oferecido pelo pavimento. As determinações foram feitas também na faixa direita.

Tabela 7: Resultados do Índice de Gravidade Global (IGG) e do IRI (*International Roughness Index*) obtidos após 2 anos e 7 meses da conclusão do trecho

Parâmetro Avaliado	Resultado	Conceito
IGG	75	Regular
IRI (m/km)	2,5	Bom

Devido ao polimento dos agregados, à exsudação e aos pequenos pontos de desagregação, o IGG passou de *bom* em 2002 para *regular* (IGG=75) em 2005, chegando próximo a 80, considerado *mau* pelo DNER-PRO 008/94.

Apesar dos defeitos de superfície que o trecho vem apresentando, de maneira geral o grau de conforto ao rolamento ainda é considerado *bom*, quase no limite do *regular*. Atente-se que

para as especificações da ARTESP atualmente em vigor no Estado de São Paulo, o QI máximo admitido é de 35 contagens/km, ou seja, IRI de 2,7 m/km.

Apesar das avaliações favoráveis do VSA em 2002 e do IRI em 2005, o SMA tem efeito limitado sobre os bons resultados, uma vez que uma camada delgada com cerca de apenas 2,0 cm de espessura tem benefícios pouco significativos na melhoria da irregularidade longitudinal. Possivelmente o trecho original, antes da execução da camada de SMA delgado apresentava conforto ao rolamento bom, ou de bom para regular.

As tabelas 8 e 9 apresentam os resultados obtidos nos ensaios de mancha de areia e pêndulo britânico, respectivamente, ambos realizados após 2 anos e 7 meses da conclusão do trecho. Tanto os ensaios de mancha de areia quanto os com o pêndulo britânico foram feitos a cada 100 m, na faixa direita (mais solicitada pelo tráfego pesado), a partir do início do trecho experimental.

Tabela 8: Resultados dos ensaios de mancha de areia realizados após 2 anos e 7 meses da conclusão do trecho

Estaca	Altura média da mancha de areia - HS (mm)	Classificação da macrotextura
0	0,25	fina ou fechada
0+100 m	0,28	fina ou fechada
0+200 m	0,34	fina ou fechada
0+300 m	0,51	média
0+400 m	0,68	média
0+500 m	0,55	média
0+600 m	0,52	média
0+700 m	0,54	média
0+800 m	0,59	média

Tabela 9: Resultados dos ensaios com pêndulo britânico realizados após 2 anos e 7 meses da conclusão do trecho

Estaca	BPN_{médio}	Classificação da microtextura
0	45	Insuficientemente Rugosa
0+100 m	43	Insuficientemente Rugosa
0+200 m	41	Insuficientemente Rugosa
0+300 m	40	Insuficientemente Rugosa
0+400 m	44	Insuficientemente Rugosa
0+500 m	39	Lisa
0+600 m	44	Insuficientemente Rugosa
0+700 m	46	Insuficientemente Rugosa
0+800 m	44	Insuficientemente Rugosa

Observando-se os resultados dos ensaios de mancha de areia, verifica-se o fechamento da macrotextura do revestimento, com diminuição dos resultados de HS que logo após a conclusão da obra apresentavam valores entre 1,10 mm e 1,60 mm e decorridos 2 anos e 7 meses de serviço apresentam valores entre 0,25 mm e 0,68 mm. Atualmente, tem-se evitado resultados abaixo de 0,60 mm.

Nos ensaios com pêndulo britânico (ASTM E 303-98) foram obtidos valores de BPN que classificam a microtextura como insuficientemente rugosa, sendo que um dos pontos foi classificado como liso. Observou-se certo polimento de agregados ocorrido na superfície do revestimento durante o monitoramento realizado em campo.

Com os resultados de mancha de areia e do pêndulo britânico, foi calculado o IFI (*International Friction Index*) (ASTM E 1960 – 98), que é um índice que quantifica a aderência no pavimento molhado e, com esses valores, foi feita a classificação do revestimento em termos de aderência no pavimento molhado de acordo com a faixa de classificação proposta em APS *et al.* (2004). Os resultados estão apresentados na tabela 10.

Tabela 10: Resultados de IFI (*International Friction Index*)

Estaca	Sp	FR60	F60-IFI	Aderência no pavimento molhado segundo APS <i>et al.</i> , 2004
0	16,29	1,15	0,07	Ruim
0+100 m	20,28	2,26	0,07	Ruim
0+200 m	26,83	4,44	0,09	Ruim
0+300 m	46,23	11,05	0,14	Regular
0+400 m	65,37	17,76	0,20	Boa
0+500 m	51,15	12,20	0,15	Regular
0+600 m	47,03	12,42	0,16	Regular
0+700 m	49,46	13,82	0,17	Regular
0+800 m	55,73	15,15	0,18	Regular

Na estaca 0+400 m, apesar de o resultado do pêndulo britânico ter apontado polimento do agregado com microtextura classificada como insuficientemente rugosa, o fato de a macrotextura nesse ponto ser média (possivelmente por desgaste ou segregação), compensou para o atrito a 60 km/h, resultando no conceito bom para a classificação da aderência no pavimento molhado. Deve-se, no entanto, ressaltar que de maneira geral, o trecho está ruim ou regular do ponto de vista do atrito, deixando de atender ao requisito funcional de aderência, razão principal de aplicar uma camada descontínua delgada.

4. ESTUDOS REALIZADOS EM LABORATÓRIO

A mistura SMA 0/8S empregada no trecho experimental foi reproduzida no LTP-EPUSP empregando o mesmo teor de projeto (7,5%) e mais dois teores menores: 6,5% e 7,0%; os materiais pétreos, fíler e fibras utilizados para esse fim têm a mesma origem daqueles empregados no SMA 0/8S aplicado no trecho experimental, o asfalto empregado também foi do tipo CAP 20.

Os dados de dosagem VCA_{MIX} (vazios da fração graúda do agregado na mistura compactada) e VCA_{DRC} (vazios da fração graúda do agregado compactado) obtidos para a mistura reproduzida em laboratório, mostrados na Tabela 11, demonstram que para os teores empregados não se consegue manter o contato grão/grão requerido para formar o esqueleto sólido da mistura SMA, pois $VCA_{MIX} > VCA_{DRC}$. Assim, do ponto de vista volumétrico, a mistura deixa de ser estável.

Tabela 11: Resultados obtidos para o VCA_{MIX} e VCA_{DRC}

Ligante	Teor (%)	VCA_{MIX} (%)	VCA_{DRC} (%)	Observações	
CAP 20	6,5	46,19	44,69	$> VCA_{DRC}$	Não satisfatório
	7,0	45,65		$> VCA_{DRC}$	Não satisfatório
	7,5	45,70		$> VCA_{DRC}$	Não satisfatório

Foram realizados ensaios de deformação permanente em simulador de tráfego francês do LCPC (NF-P-98-253-1), onde os ensaios são conduzidos em duas placas simultaneamente, submetidas à temperatura de 60°C. As medidas são efetuadas após 100, 300, 1000, 3000, 10000 e 30000 ciclos de carregamento, em quinze pontos para cada uma das placas ensaiadas. O resultado, expresso em porcentagem, corresponde à média aritmética do afundamento nos pontos medidos, para um determinado número de ciclos, divididos pela espessura de 50 mm das placas de ensaio.

Para os testes de deformação permanente em laboratório foram escolhidos, além do teor de projeto (7,5%), outros dois teores de ligante reduzidos (6,5% e 7,0%) com base em experiências positivas adquiridas em outros trechos de SMA testados no Estado de São Paulo, onde os teores obtidos no processo de dosagem foram corrigidos, com subtração de pequena porcentagem de ligante, baseando-se na 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 (Brousseau, 2002). Os resultados de deformação permanente obtidos foram apresentados em SILVA *et al.* (2004) e são mostrados na Tabela 12. A Figura 6 apresenta as retas obtidas por regressões com base nos resultados de deformação permanente, para os teores de 6,5%, 7,0% e 7,5% de CAP 20. Na Tabela 13 apresentam-se as equações de regressão e os coeficientes de correlação R^2 .

Tabela 12: Resultados dos ensaios de deformação permanente (%) (SILVA *et al.*, 2004)

Teor de ligante	Ciclos					
	100	300	1000	3000	10000	30000
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

Tabela 13: Regressões dos ensaios de deformação permanente (SILVA *et al.*, 2004)

Teor de ligante(%)	Regressão (*)	R^2
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

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

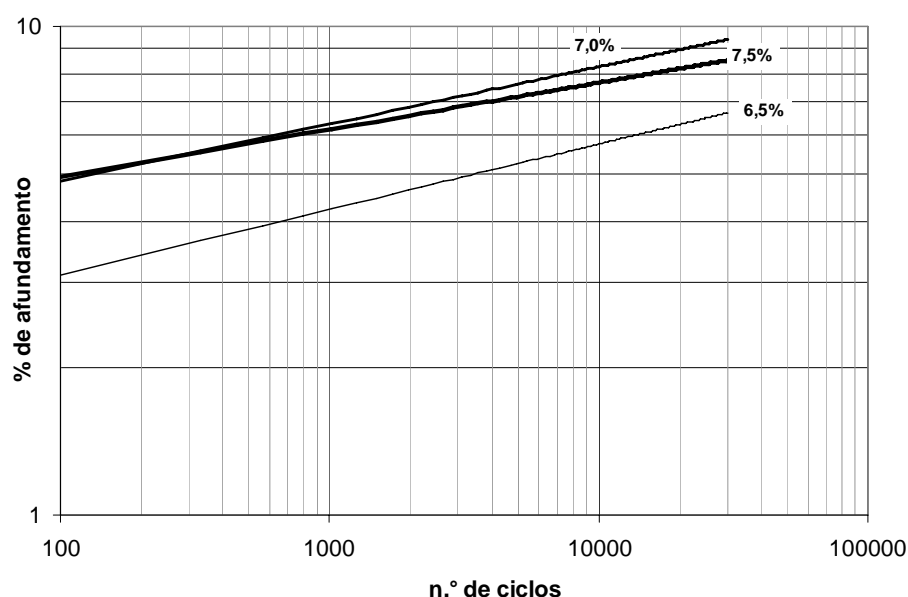


Figura 6: Deformação permanente em mistura SMA 0/8S empregando teores de 6,5%, 7,0% e 7,5% de CAP 20 (modificado de SILVA *et al.*, 2004)

A mistura SMA 0/8S testada apresentou um aumento excessivo de deformação permanente quando se comparam os valores obtidos aos 30000 ciclos para os teores de 6,5% e 7,0% (de 6,6% para 9,0%), porém nos teores de 7,0% e 7,5% de ligante as porcentagens de afundamento praticamente não se alteram. O teor excessivo provoca o escorrimento do ligante durante o ensaio de deformação permanente devido à elevada temperatura de ensaio, alojando-se no fundo da placa. Por este motivo os resultados são semelhantes.

As especificações europeias de misturas asfálticas têm fixado o valor limite máximo de 5% de afundamento nas trilhas de roda no ensaio com simulador de tráfego aos 30000 ciclos para revestimentos de vias sujeitas a tráfego pesado (Brousseau, 1993). Por este critério, a mistura SMA 0/8S testada não seria indicada em nenhum dos teores empregados, porém critérios específicos para SMA devem ser criados para melhor selecionar as misturas, graduações e tipos de ligante. Deve-se igualmente promover uma adaptação desta tecnologia à realidade brasileira, uma vez que as condições climáticas nacionais divergem daquelas dos países de clima frio e temperado onde o SMA tem sido normalmente empregado como camada de rolamento de pavimentos.

5. CONCLUSÕES

Com base nos ensaios de deformação permanente observa-se que o teor de 7,5% de CAP 20 utilizado no trecho experimental é excessivo e o responsável, pelo menos em parte, pela redução da macrotextura nas trilhas de roda, uma vez que se observou no ensaio de deformação permanente um afundamento elevado, resultando em fechamento da macrotextura.

Quanto às avaliações realizadas em campo, verifica-se que em 2 anos e 7 meses de operação, o comportamento do trecho experimental quanto à aderência ficou comprometido, com redução acentuada da macrotextura do revestimento nas trilhas de roda, principalmente na faixa da direita (mais solicitada pelo tráfego de veículos pesados) com a altura média da

mancha de areia passando de 1,40 mm para 0,50 mm. Em termos funcionais, o conforto ao rolamento também sofreu um certo decréscimo, passando de *bom* para *regular*. Há ocorrências de alguns defeitos de superfície: desgaste, desagregação e exsudações, todos provavelmente resultantes do excesso de ligante e espessura insuficiente da camada de rolamento.

A norma alemã (ZTV Asphalt – StB 94, 2001) recomenda a faixa de espessura de 3,0 cm a 4,0 cm para as misturas SMA 0/8S; assim, a espessura de 2,0 cm empregada no revestimento do trecho experimental está abaixo do limite mínimo recomendado e pode ser responsável pela ocorrência dos pontos de segregação e de exsudação, pois a espessura insuficiente provoca uma deficiência no esqueleto sólido e eleva a perda de temperatura durante a compactação, resultando ora em pontos de exsudação, ora em pontos de segregação. A espessura de 2,0 cm somente poderia ser utilizada na faixa 0/5 alemã ou 0/6 holandesa.

Agradecimentos

Os autores agradecem o Eng. José Mario Chaves por ter disponibilizado todos os dados relativos à dosagem e execução do trecho experimental, à Concessionária Nova Dutra pela permissão de monitoramento e uso dos dados para fins acadêmicos e para avanço da tecnologia, à PETROBRAS e FINEP pelo apoio à pesquisa para o desenvolvimento de misturas asfálticas de alto desempenho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AFNOR-NF-P-98-253-1 (1991) - *Essais relatifs aux chaussées – Déformation permanente des mélanges hydrocarbonés, Partie 1: Essai d'orniérage*. Association Française de Normalisation, AFNOR, França.
- Aps, M.; Bernucci, L.B.; Fabrício, J.M.; Fabrício, J.V.F. e Moura, E. (2004) Determinação do IFI – “International Friction Index” por Intermédio de Aparelhagem Portátil. 17.º ENCONTRO DE ASFALTO, Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás, Rio de Janeiro, RJ, 8p, 1 CD-ROM.
- ASTM (1998a) E 303 – *Standard test method for measuring surface frictional properties using the british pendulum tester*. American Society for Testing and Materials, USA.
- ASTM (1998b) E 160 – *Standard practice for calculating international friction index of a pavement surface*. American Society for Testing and Materials, USA.
- ASTM (2001) E 965 – *Standard test method for measuring pavement macrotexture depth using a volumetric technique*. American Society for Testing and Materials, USA.
- Brousseau, Y. (2002) La methode de formulation des enrobés: presentation de la demarche, moyens d'essai, fidelite et pertinence de la methode. Communication au Brésil. 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.
- 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.
- DNER (1994a) PRO 007 – *Avaliação subjetiva da superfície de pavimentos*. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Rio de Janeiro.
- DNER (1994b) PRO 008 – *Avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos*. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Rio de Janeiro.
- NAPA (1999) *Design and construction SMA mixtures – State of the practice*. National Asphalt Pavement Association, 1999. 43p.
- Silva, P.B.; L.L.B. Bernucci; F.P. Oliveira e L.F.M. Leite (2004) Estudo do comportamento mecânico de misturas asfálticas tipo SMA na faixa 0/8S. *Anais do XVII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transporte*, ANPET, Florianópolis, SC, v.1, p. 199-209.
- ZTV Asphalt – StB (2001) – *Zusätzliche Technisch Vertragsbedingungen und Richtlinien fuer den Bau von Fahrbaendecken aus Asphalt*. Forschungsgesellschaft fuer Strassen-und Verkehrswesen – Arbeitsgruppe Asphaltstrassen. Alemanha.

Patricia Barboza da Silva (patricia.silva@poli.usp.br)

Liedi Legi Bariani Bernucci (liedi@usp.br)

Edson de Moura (edmoura@usp.br)

Departamento de Engenharia de Transporte, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo

Av. Prof. Almeida Prado, trav. 2, prédio 83

05508-070 – São Paulo – SP

Leni Figueiredo Mathias Leite (leniml@cenpes.petrobras.com.br)

Valéria Faria (valeria@novadutra.com.br)