

**REVESTIMENTO ASFÁLTICO TIPO SMA PARA ALTO DESEMPENHO  
EM VIAS DE TRÁFEGO PESADO**

- 1º Autor:** Rafael Marçal Martins de Reis  
Eng.º Químico, Mestre em Infra-estrutura de Transportes pela Universidade de São Paulo, Gerente de Desenvolvimento Tecnológico  
Centro de Desenvolvimento Tecnológico  
Ipiranga Asfaltos S.A.  
Antigo Leito da Estrada de Ferro Sorocabana, s/nº  
CEP 13140-000 – Paulínia, SP  
Brasil  
Fone: (19) 3884.9405/9411  
Fax: (19) 3884.7205  
e-mail: rafaelreis@ipirangaasfaltos.com.br
- 2º Autor:** Liedi Bariani Bernucci  
Eng.ª Civil, Professora Doutora Universidade de São Paulo  
Escola Politécnica - Universidade de São Paulo - SP  
Av. Prof.º Almeida Prado, travessa 2, s/nº - Cidade Universitária  
Cep.: 05508-900 - São Paulo, SP  
Brasil  
Fone: (11) 3091.5485 / 5171  
Fax: (11) 3091.5716  
e-mail: liedib@usp.br
- 3º Autor:** Pablo del Águila Rodriguez  
Consultor Internacional para América do Sul e Central  
e-mail: asfaltos@camineros.com
- 4º Autor:** Sheigui Shiroma  
Eng.º Civil, Gerente de Operações  
Ipiranga Asfaltos S.A.  
e-mail: sshiroma@ipiranga.com.br
- 5º Autor:** Anelise Lamaro Zanon  
Eng.ª Química, Analista de Desenvolvimento  
Ipiranga Asfaltos S.A.  
e-mail: cdt.desenv@ipirangaasfaltos.com.br

## REVESTIMENTO ASFÁLTICO TIPO SMA PARA ALTO DESEMPENHO EM VIAS DE TRÁFEGO PESADO

Rafael Marçal Martins de Reis<sup>(1)</sup>, Liedi Bariani Bernucci<sup>(2)</sup>, Pablo del Águila Rodriguez<sup>(3)</sup>  
Shegui Shiroma<sup>(4)</sup>, Anelise Lamaro Zanon<sup>(5)</sup>

### RESUMO

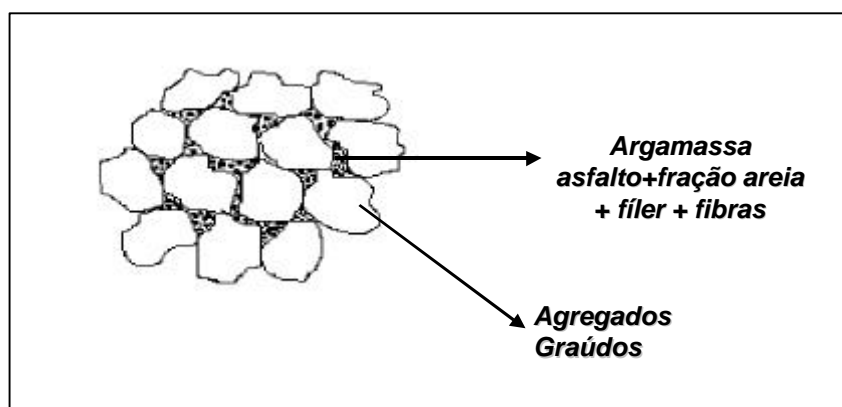
Este trabalho apresenta alguns resultados de pesquisa laboratorial compreendendo projeto de dosagem, comportamento mecânico da mistura SMA (Stone Matrix Asphalt – Matriz Pétreas Asfáltica), bem como, aspectos executivos relacionados ao desenvolvimento de um trecho experimental em SMA para revestimento de pavimentos. Os resultados de laboratório obtidos mostram que o SMA é um revestimento asfáltico que pode apresentar bom desempenho sob cargas pesadas em climas quentes, pois estas misturas são muito resistentes à deformação permanente, mas preservam a flexibilidade como os concretos asfálticos densos. O SMA é uma solução bem conhecida para tráfego pesado na Europa e mais recentemente na América do Norte. O SMA também tem sido empregado para aumento de aderência em pista molhada e para redução de ruído.

### INTRODUÇÃO

Com o aumento do volume de tráfego e da carga dos caminhões nas rodovias, torna-se cada vez mais importante que um pavimento atenda aos requisitos de alta durabilidade, alta segurança em pista molhada e conforto ao usuário. Além disso, a relação custo-benefício é um fator que exerce forte influência na escolha do revestimento asfáltico; a opção por uma alternativa de alta durabilidade, reduz os custos de manutenção e os custos de operação das vias durante os serviços de reparos e reabilitação. Para a camada de rolamento, vem crescendo a utilização em países desenvolvidos de misturas asfálticas mais resistentes e mais duráveis, sendo que algumas destas soluções envolvem o emprego de graduação descontínua, tal como o SMA (*Stone Matrix Asphalt* – Matriz Pétreas Asfáltica). O SMA tem sido muito utilizado na Europa, em países como a Alemanha, a Bélgica, entre outros, e na América do Norte, nos Estados Unidos e no Canadá.

## 1. HISTÓRIO E PRINCIPIO DE FUNCIONAMENTO

O SMA (*Stone Matrix Asphalt – Matriz Pétreas Asfáltica*) é um revestimento asfáltico a quente, concebido para maximizar o contato entre os agregados graúdos, aumentando a interação grão/grão; a mistura se caracteriza por conter uma elevada porcentagem de agregados graúdos (70-80% retido na peneira nº 04). Devido a esta particular graduação, forma-se um grande volume de vazios entre os agregados graúdos; estes vazios, por sua vez, são preenchidos por uma argamassa constituída pela mistura da fração areia, fíler, ligante asfáltico e fibras – Figura 1. As fibras são geralmente orgânicas (de celulose) ou minerais, e são adicionadas durante a usinagem para evitar a segregação da mistura em seu transporte, facilitar a aplicação e evitar o escorrimento do ligante asfáltico. A fração areia é constituída essencialmente de material britado na fração areia. Tem-se requerido a totalidade do material granular britado, sendo que em pelo menos 90% deste, haja duas faces britadas (NAPA, 1999).



**Figura 1:** Composição esquemática do SMA

O SMA é uma mistura rica em ligante asfáltico devido sua constituição granulométrica particular, com um consumo de ligante em geral entre 6% e 7%, sendo portanto impermeável, com cerca de 4% a 6 % de volume de vazios com ar. Geralmente é aplicado em espessuras variando entre 3 cm a 7 cm. Para garantir ainda menor deformação permanente e maior vida de fadiga, tem sido empregado ligante asfáltico modificado por polímero. Devido à graduação e alta concentração de agregados graúdos, tem-se uma macrotextura superficial rugosa, formando pequenos “canais” entre os agregados graúdos, responsáveis por uma eficiente drenabilidade superficial.

O SMA foi concebido na Alemanha, em 1968, quando foi aplicada uma capa de rolamento de apenas 2 cm de espessura, composta por 75% de agregados de 5/8 mm, 15% de material de 0/2 mm, 10% de fíler mineral e 7% de ligante betuminoso sob o peso total da

mistura. Para evitar escorrimento do ligante asfáltico, uma vez que a mistura era aplicada em torno de 180°C, foram empregadas fibras como 'aditivo estabilizador'. Decorrido mais de 30 anos, esse revestimento ainda se encontra em bom estado, e desde então, foram aplicados mais de 200 milhões m<sup>2</sup> somente na Alemanha (EAPA, 1998). As faixas 0/8 e 0/11 da norma alemã são as mais empregadas neste país. A adoção do SMA vêm sendo intensificada em outros países europeus, como na Bélgica, Espanha, Suíça, entre outros, dados os sucessos consagrados ao longo de mais de duas décadas. Na Bélgica, a experiência tem se estendido com SMA na faixa cujo tamanho máximo do agregado é maior (0-16 mm), com sucessos em vias de tráfego pesado e espessuras de cerca de 6 cm (FRANCKEN e VANELSTRAETE, 1995). Desde o início da década de 90, o SMA é muito popular na América do Norte e na Europa (SCHMIEDLIN, 1999; WOODMAN et al., 1997, EMERY et al., 1996).

O emprego desta tecnologia, também, foi estendido para o México com sucesso (PERDRAZA, 1999). Recentemente uma experiência pioneira foi realizada na Argentina, nas faixas 0/11 mm e 0/19 mm, em auto-estrada nas proximidades de Buenos Aires (BOLZAN, 2000). Em 2000, a mistura asfáltica SMA foi utilizada nos serviços de recapeamento do Audódromo de Interlagos – SP para a realização da etapa Brasil do circuito da Fórmula I. Em agosto de 2001, também no Brasil, foi realizada uma aplicação pioneira em rodovia de alto tráfego no estado de S. Paulo, com o objetivo de avaliar o desempenho do revestimento SMA, cujo projeto de dosagem e análise preliminar da seção experimental são descritos no presente trabalho. As experiências com o SMA tem mostrado de forma geral que se trata de um revestimento de alto desempenho estrutural e funcional. Os relatos sobre insucessos estão relacionados em geral a falhas executivas, algumas delas ligadas à segregação e à exsudação. Estes erros podem ser contornados havendo um bom controle dos agregados e da faixa de projeto, dosagem apropriada do teor de ligante e de fibras, bem como, controle e homogeneidade de temperatura de usinagem e compactação.

## **2. CONCEPÇÃO DO PROJETO E AVALIAÇÃO MECÂNICA DA MISTURA SMA**

O projeto da mistura asfáltica não segue o procedimento de dosagem Marshall tradicional; a metodologia apresenta, energia de compactação dos corpos de prova, relações, parâmetros volumétricos e ensaios de laboratório específicos.

Basicamente, a concepção do projeto de mistura segue duas exigências:

A primeira delas é a garantia da resistência interna da estrutura às solicitações do tráfego, através do contato grão/grão entre os agregados graúdos (formação da matriz pétreia).

A segunda exigência do projeto é a garantia de durabilidade da mistura (impermeabilidade / coesão) através de uma argamassa de elevada consistência formada pela fração de agregado fino (areia de brita e fíler) e ligante asfáltico. A metodologia e as especificações para o projeto de mistura seguem as recomendações da *National Center for Asphalt Technology* - NCAT (NAPA, 1999) e da *European Asphalt Pavement Association* (EAPA, 1998).

As principais etapas do projeto de mistura são:

- Seleção dos Componentes da Mistura; Seleção da Graduação Ótima;
- Seleção do Teor Ótimo de Ligante Asfáltico;
- Avaliação da Resistência à Ação Deletéria da Água;
- Avaliação da Sensibilidade ao Escorrimento;
- Avaliação Mecânica Complementar;
- Avaliação de Aderência.

A dosagem tem sido realizada de forma a obter 4% de volume de vazios, em corpos de prova Marshall, compactados com 50 golpes por face (NAPA, 1999). Nos Estados Unidos, vem sendo recomendada a dosagem pelo equipamento de compactação giratória, fixando os mesmos 4% de volume de vazios. Para este volume de vazios, têm sido obtidas porcentagens superiores a 6% de ligante asfáltico. A NAPA recomenda durante a etapa de dosagem do SMA a execução do ensaio de sensibilidade ao escorrimento (*Draindown Sensitivity*), conforme norma AASHTO T-305-97 e a avaliação da resistência à ação deletéria da água, segundo a metodologia AASHTO T-283, eliminando-se o ciclo de congelamento e estabelecendo a relação de resistência à tração retida (RRT) mínima requerida de 70%. Se a mistura apresentar elevada suscetibilidade à ação da água, com valor de RRT inferior a 70% recomenda-se, preferencialmente, a adição de aditivos melhoradores de adesividade. Nesta pesquisa, adotou-se uma prática americana e européia, que preconiza o emprego de ligantes asfálticos modificados por polímeros. As principais fibras que têm sido utilizadas são de origem orgânica (celulose) ou inorgânica (fibra de vidro).

Nesta etapa da pesquisa, foram utilizadas fibras inorgânicas de vidro de diâmetro nominal de 12 microns e comprimento médio, entre 4 a 5 mm. A motivação de tal uso deu-se uma vez que há no mercado brasileiro facilidade de obtenção desta fibra, inclusive como resíduo de sua fabricação para diversas aplicações industriais. A quantidade requerida foi determinada pelo ensaio de sensibilidade ao escorrimento (*Draindown Sensitivity*), através

de exposição em estufa por uma hora, à temperatura de mistura, de cerca de 1200g de amostra, calculando, após este período de exposição, a massa de ligante que saiu (escorreu) da mistura. O valor obtido neste ensaio foi inferior ao 0,3%, conforme recomendado (NAPA, 1999), resultando, praticamente, em 0,3% de fibras de vidro em peso da mistura SMA para os três tipos de ligantes asfálticos estudados.

Com o objetivo de selecionar o tipo de ligante asfáltico para a mistura SMA foram executados ensaios de deformação permanente, módulo de resiliência, resistência à tração por compressão diametral e de resistência à ação deletéria da água. Todos os ensaios foram realizados em amostras de SMA confeccionados segundo o projeto de dosagem, no teor ótimo de 6,0% de ligante asfáltico, tanto para os ligantes modificados como para o convencional CAP 20.

A graduação e composição foram fixadas para todos os ligantes pesquisados, sendo o teor de fibra de vidro e cal de 0,3% e 2,8% em peso da mistura SMA, respectivamente. Foram moldadas placas com 180 mm de largura x 500 mm de comprimento x 50 mm de espessura em uma mesa compactadora tipo LPC francesa, segundo procedimento francês (AFNOR, 1991a). Este equipamento simula melhor que o Marshall as condições de compactação de campo e o estado do material resultante deste processo.

Nas placas de SMA moldadas foram realizados os ensaios de deformação permanente em simulador de tráfego tipo LPC, segundo procedimento francês (AFNOR, 1991b). Os ensaios foram conduzidos à 60°C até 30.000 ciclos, como especificado em norma francesa para tal finalidade (NFP98-253-1, 1991).

Analisando os resultados de deformação permanente, pode-se verificar o efeito importante do ligante asfáltico modificado na deformação permanente, reduzindo o afundamento de forma expressiva. Para o ligante asfáltico CAP-20, observa-se um afundamento de, aproximadamente, 12% para solicitação de 30.000 ciclos; já para o ligante asfáltico modificado por SBS, Betuflex B 60/60, este valor foi de cerca de 9% e para o ligante modificado por polímero SBS, Betuflex B 80/60, este valor foi ainda menor, da ordem de 4%. Deve-se ressaltar que, os valores obtidos de deformação permanente demonstram a alta resistência da mistura com asfalto modificado por polímero, viabilizando suas utilizações em camada de revestimento para vias de alto volume de tráfego, conforme recomendação francesa; já o ligante asfáltico CAP-20 disponível nas regiões sul e sudeste do Brasil, está acima do máximo admissível pelas especificações européias.

Os ensaios para a determinação dos valores de módulo de resiliência foram realizados segundo a norma DNER-ME 133/94 (DNER, 1994a) e de resistência à tração por

compressão diametral segundo DNER-ME 138/94 (DNER, 1994b); os ensaios foram conduzidos à temperatura de 25°C.

Observa-se que os valores de módulo de resiliência e de resistência à tração são da mesma ordem de grandeza de bons concretos asfálticos. Ou seja, o SMA não é uma mistura significativamente rígida, possibilitando seu uso em situações de estruturas de pavimentos compatíveis com aquelas onde se indicariam CBUQ, sem necessidade adicional de redução de deflexões por meio de enrijecimento de bases ou sub-bases, ou mesmo requerendo espessuras de SMA mais expressivas. Afirmar que, quanto maior o valor de módulo de resiliência, melhor o desempenho da mistura asfáltica pode não ser verdadeiro. As misturas asfálticas devem possuir flexibilidade suficiente para suportar as solicitações do tráfego e resistência à tração adequada para evitar rupturas precoces.

A rigidez do revestimento deve estar compatibilizada com toda a estrutura do pavimento. A vida de fadiga deve ser a maior possível; o emprego de asfalto modificado por polímero deve aumentar a vida de fadiga do SMA em função da expressiva recuperação elástica imprimida no ligante pelo SBS; para confirmação da melhoria de comportamento, deve-se realizar ensaios para tais finalidades. Comparando-se valores da relação MR/RT como indicativo da resistência ao trincamento, pode-se observar que o menor valor é apresentado pela mistura SMA confeccionada com Betuflex B 80/60.

Quanto menor este valor, melhor o comportamento mecânico garantindo uma combinação de alta flexibilidade com elevada resistência à tração. Uma possível causa do valor alto de resistência à tração da mistura com CAP-20, deve-se provavelmente ao fato da adição de cal em quantidade ensaiadas. Baseado nos resultados do estudo de deformação permanente, módulo de resiliência, resistência à tração e resistência à ação da água, podemos concluir que os ligantes asfálticos modificados por polímeros apresentaram melhor comportamento em relação ao CAP-20.

Destaca-se, o emprego do Betuflex B 80/60 nas misturas SMA por apresentar as seguintes vantagens:

- Redução de afundamentos em trilhas de roda;
- Provável aumento da vida de fadiga;
- Aumento da coesão da mistura SMA e, conseqüentemente, melhoria das condições de segurança em função da preservação da macrotextura do revestimento.

### **3. ASPECTOS RELACIONADOS AOS MATERIAIS, FABRICAÇÃO, TRANSPORTE, APLICAÇÃO E CONTROLES TECNOLÓGICOS NA EXECUÇÃO DO TRECHO EXPERIMENTAL**

Para garantir a formação da matriz pétreia (contato grão-grão), 70 a 80% da composição granulométrica deve ser de agregado graúdo. O controle sistemático da graduação deste material (retido na peneira 4,75 mm) e da quantidade de fíler mineral (passando na peneira 0,075 mm) é de fundamental importância para a qualidade da massa asfáltica produzida.

Na execução do trecho experimental foi empregada a usina gravimétrica da Empresa EBEC Engenharia, distante aproximadamente 30 km do local da aplicação; foram necessárias modificações nas peneiras classificatórias da usina a fim de atender a composição da mistura seca e sua graduação.

Como a quantidade de material de enchimento no SMA excede à empregada normalmente em misturas densas convencionais, recomenda-se o emprego de um sistema mecânico de dosagem de fíler a fim de evitar uma redução na produtividade da usina. Em função da pequena quantidade de massa asfáltica produzida na usina, o fíler calcário foi incluído na massa, via silo frio, e a cal CH-I diretamente no misturador. Em usinas do tipo *Drum-mixer* a linha de alimentação do fíler deve ser próxima a do ligante asfáltico com a finalidade de impedir que os gases arrastem o material de enchimento para o sistema de recuperação de finos.

Como em qualquer mistura a quente, os cimentos asfálticos de petróleo - CAPs não podem ser aquecidos acima de 177°C, sendo que a temperatura ideal de trabalho (usinagem e compactação) é obtida pela relação temperatura-viscosidade. Esta temperatura limite visa evitar a oxidação e a degradação térmica do ligante.

Os asfaltos modificados por polímero SBS podem ser danificados por aquecimento a altas temperaturas (acima de 180°C), reaquecimentos sucessivos ou prolongados.

Normalmente devem ser entregues na faixa de temperatura de usinagem (160 – 175°C) e descarregados em tanques isentos de lastro de cimento asfáltico de petróleo - CAP. As temperaturas ideais de usinagem e compactação são determinadas através da relação viscosidade x temperatura e devem constar no certificado de qualidade do produto. Recomenda-se durante o armazenamento por um período superior a 5 dias, estocar estes produtos à temperatura mais branda que a usual (100 – 120°C), sendo a máxima recomendável para períodos curtos de armazenamento de 165°C. Estocar a temperatura ambiente se ficarem armazenados por longos períodos (20 dias ou mais). A temperatura uniforme e a distribuição homogênea do calor ao longo do tanque deverá ser obtida através

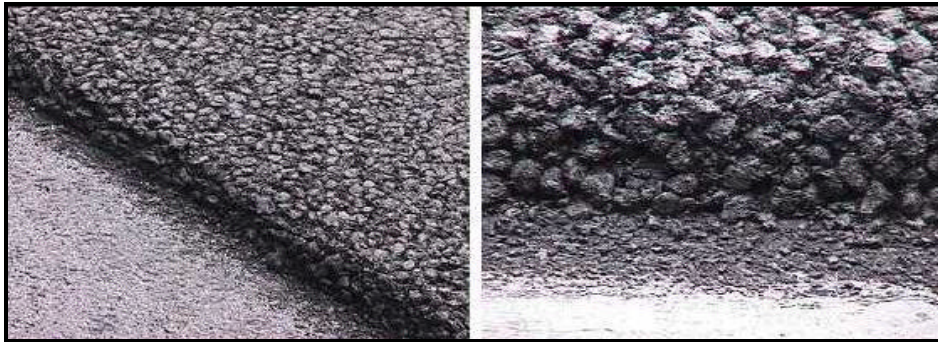
da recirculação do produto pela bomba de transferência. O aquecimento nunca deverá realizar-se de forma direta e sim em tanques providos com serpentina de fluido térmico. Devido à elevada porcentagem de agregado graúdo e, conseqüentemente, sua baixa superfície específica, emprega-se fibras para reter a argamassa finos-filer-betume em torno do material graúdo. As fibras de celulose aumentam a viscosidade desta argamassa, rica em ligante, em até 10 vezes, evitando problemas de escorrimento durante as operações de usinagem, transporte e aplicação da massa asfáltica. As fibras devem ser armazenadas em local seco, isento de impurezas e incorporadas à massa asfáltica através de dispositivos mecânicos dotados de medidores mássicos ou volumétricos. Nas usinas gravimétricas, as fibras devem ser adicionadas, previamente à adição do ligante asfáltico, diretamente no misturador; em usinas do tipo *Drum-Mixer* devem ser adicionadas no segundo compartimento do tambor, também antes da injeção do ligante, sem contato direto com a chama do maçarico.

Para o trecho experimental a fibra de celulose (Viatop 66) foi adicionada à massa asfáltica diretamente no misturador. A incorporação de fibras de celulose na sua forma granular (*pellets*), em ambas as usinas, pode ser realizada de maneira simples, via correia transportadora e evitam problemas operacionais que, geralmente, as fibras soltas causam, tais como: formação de grumos e/ou absorção pelo sistema de filtros das usinas. A mistura SMA não deve ser armazenada por períodos que excedam 2 a 3 horas, em condições de temperatura elevada a fim de impedir um potencial escorrimento da argamassa, rica em ligante asfáltico. O tempo em conjunto com a vibração proveniente do transporte da massa também, deve ser limitado tanto quanto possível, pela mesma razão. Deve-se tomar o cuidado de cobrir com lonas impermeáveis a massa asfáltica ao longo do transporte para evitar o seu resfriamento. Temperaturas inferiores a 145°C podem prejudicar as operações manuais e de compactação do revestimento.

De modo geral, as etapas de fabricação, armazenamento, transporte e aplicação do SMA devem ocorrer de forma integrada, evitando grandes intervalos de tempo e, conseqüentemente, perdas excessivas de temperatura. A mistura SMA pode ser utilizada como camada de rolamento em novas construções ou em serviços de manutenção sobre pavimentos asfálticos ou de concreto de cimento Portland. De maneira similar aos procedimentos executivos que precedem a aplicação de qualquer revestimento asfáltico, deve-se realizar a preparação prévia da superfície que receberá a massa asfáltica. Estes reparos podem incluir selagem de trincas, remendos e, até mesmo, fresagem e/ou recapeamento de áreas contendo grandes deformações permanentes.

O substrato a ser revestido deve estar limpo e seco, assegurando a aderência entre as camadas através de uma pintura de ligação, preferencialmente, com emulsão de asfalto modificado por polímero, na taxa de  $0,5 \text{ l/m}^2$ , sem diluição. A logística de fabricação, transporte e aplicação da massa asfáltica é de fundamental importância para que a vibroacabadora seja alimentada e opere de forma contínua, com o objetivo de assegurar a regularidade transversal e longitudinal da camada de rolamento. A vibroacabadora deve possuir dispositivos mecânicos (*Tampers*) para garantir uma elevada pré-compactação, em torno de 88 a 90%. A compactação da mistura é realizada imediatamente após o seu espalhamento com no mínimo dois rolos metálicos estáticos tipo Tandem de 10 a 12 toneladas (tão próximos quanto possível da vibroacabadora), limitando entre seis a oito o número de passadas de cada rolo.

Geralmente, as temperaturas (inicial e final) de compactação mínima são  $150^\circ\text{C}$  e  $140^\circ\text{C}$ , respectivamente, porém, recomenda-se estabelecer a faixa ideal de trabalho obtida no gráfico viscosidade x temperatura em função do tipo de ligante asfáltico empregado. A utilização de rolos compactadores vibratórios somente é recomendada para temperaturas elevadas da mistura asfáltica e após a compactação com rolo estático tipo Tandem, para camadas com espessuras superiores a 3 cm. Para camadas com espessuras inferiores a 2 cm, não se deve utilizar rolos vibratórios, pois poderá haver fragmentação do agregado e/ou exsudação do ligante asfáltico. Não se recomenda a utilização de rolos pneumáticos; parte da argamassa da mistura SMA adere aos pneus do compactador, causando defeitos na superfície do revestimento. A NAPA (1999), recomenda que a densidade da mistura SMA compactada seja no mínimo 94% da densidade máxima teórica para a garantia da impermeabilidade do revestimento. Quando compactadas, as misturas a quente convencionais apresentam uma redução de 20 a 25% na sua espessura de aplicação; já a mistura SMA apresenta um abatimento menor, de 10 a 15% na sua espessura original. A Figura 1 apresenta aspectos da espessura e da textura superficial do revestimento antes de sua liberação ao tráfego. Verifica-se a elevada quantidade de material graúdo (contato grão / grão) responsável pela resistência à deformação permanente da mistura.



**Figura 1:** Aspecto da espessura, macrotextura e da matriz pétreia do revestimento SMA

Durante o processo executivo, recomenda-se que sejam realizados controles sistêmicos, cuja freqüência deverá ser estabelecida pelas especificações de serviço do órgão contratante, tais como:

- *Agregados*: composição granulométrica dos agregados, equivalente de areia, azul de metileno, índice de forma e abrasão *Los Angeles*;
- *Ligante Asfáltico Modificado*: penetração, ponto de amolecimento e recuperação elástica;
- *Fibras*: conferência do certificado de qualidade do fabricante;
- *Misturas Usinadas*: teor de ligante, composição granulométrica, volume de vazios com ar, vazios no agregado mineral, ensaio de sensibilidade ao escorrimento e de resistência à ação da água;
- *Misturas Aplicadas*: grau de compactação, macrotextura (ensaio da mancha de areia), aderência (pêndulo britânico – SRT) e QI - irregularidade longitudinal (através do integrador tipo resposta ou similar).

#### 4. CONCLUSÕES

O SMA é um tipo de mistura asfáltica muito empregada na Europa e América do Norte para vias de tráfego intenso e pesado, tendo se mostrado ao longo de sua experiência, de mais de duas décadas, um revestimento de pavimento resistente, durável e de bom comportamento funcional relativo à qualidade de rolamento, aumento de aderência, redução de borrfio, da reflexão de luzes em pistas molhadas e de ruído, entre outros aspectos.

O SMA é uma mistura de particular resistência à deformação permanente graças as suas características volumétricas e de graduação descontínua; os ensaios mostraram que a modificação dos asfaltos por polímeros do tipo SBS reduz consideravelmente os afundamentos em trilhas de roda. Verifica-se, entretanto, a elevada sensibilidade à deformação permanente com a variação no teor de asfalto modificado com polímero SBS

(Betuflex B 80/60) dentro da faixa de teores estudados, tendo sido determinante a execução dos ensaios no simulador de tráfego tipo LPC, na fase de projeto da mistura, para verificação do teor ótimo de ligante. O SMA possui flexibilidade compatível com concretos asfálticos densos de boa qualidade, refletida pelos ensaios realizados de módulo de resiliência e resistência à tração.

As fibras de celulose ou de vidro são aditivos estabilizadores eficazes para evitar a segregação da massa devido à particular graduação do SMA e o escorrimento de parte da argamassa rica em ligante asfáltico, durante as operações de usinagem, transporte e aplicação; principalmente as fibras de celulose na forma granular facilitam seu manuseio e sua adição à mistura.

Para as misturas de SMA testadas, não foram constatadas perdas referentes a condicionamento no ensaio AASHTO T-283, mostrando que as misturas ensaiadas são muito resistentes à ação deletéria da água.

Através da avaliação preliminar das características relacionadas à segurança do usuário, observa-se que o revestimento tipo SMA, apresenta, até a publicação deste trabalho, condições adequadas de aderência e atrito entre a sua superfície e os pneus dos veículos, entretanto deverá ser monitorado a evolução do desempenho do trecho experimental executado, especialmente quanto à segurança ao usuário para tráfego em baixas velocidades. À luz dos resultados obtidos na execução do trecho experimental na via Anchieta - pista Sul, na "curva da onça" - km-44 + 400 m, sentido normalmente de descida de São Paulo rumo a Santos, esta tecnologia é perfeitamente factível à realidade brasileira, sendo recomendada sua utilização em vias de tráfego intenso e pesado, desde que obedecidos os procedimentos de projeto, executivos e de controle tecnológico preconizados pela NCAT / EAPA e efetuadas as devidas adaptações nas usinas usualmente empregadas para as misturas a quente .

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AFNOR (1991a) *Preparation des Mélanges Hydrocarbonés – Partie 2: Compactage des plaques*. NF P 98-250-2. Association Française de Normalisation, Paris, França.
- AFNOR (1991b) *Deformation Permanente des Mélanges Hydrocarbonés – Partie 1: Essai d'orniérage*. NF P 98-253-1. Association Française de Normalisation, Paris, França., 11p. Juillet.
- DE REIS, R.M.M. (2002) *Revestimento Asfáltico Tipo SMA para Alto Desempenho em Vias de Tráfego Pesado - Tese de Mestrado / Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – USP, Brasil*.
- DNER (1994a) *Métodos de Ensaio - Determinação do Módulo de Resiliência de Misturas Betuminosas*. DNER-ME 133/94. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem Ministério dos Transportes, Brasil.
- DNER (1994b) *Métodos de Ensaio – Misturas Betuminosas – determinação da resistência à tração por compressão diametral* DNER-ME 138/94. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem Ministério dos Transportes, Brasil.
- EAPA (1998) *Heavy Duty Surfaces: The Arguments for SMA*. European Asphalt Pavement Association, Holanda.
- NAPA (1999) *Designing and Constructing SMA Mixtures – State-of-the-Practice*. *National Asphalt Pavement Association, Quality Improvement Series 122*. USA.