

Copyright 2005, Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás - IBP

Este Trabalho Técnico Científico foi preparado para apresentação no 3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás, a ser realizado no período de 2 a 5 de outubro de 2005, em Salvador. Este Trabalho Técnico Científico foi selecionado e/ou revisado pela Comissão Científica, para apresentação no Evento. O conteúdo do Trabalho, como apresentado, não foi revisado pelo IBP. Os organizadores não irão traduzir ou corrigir os textos recebidos. O material conforme, apresentado, não necessariamente reflete as opiniões do Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás, Sócios e Representantes. É de conhecimento e aprovação do(s) autor(es) que este Trabalho será publicado nos Anais do 3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás

APLICAÇÃO DE ASFALTO-BORRACHA NA BAHIA

Sandra Oda¹, Luis Alberto Herrmann do Nascimento², Guilherme Edel³

¹ Universidade Salvador, Rua Agnelo Brito 53, Federação, CEP 40210-245, Salvador, BA
e-mail: sandra.oda@unifacs.br

² Centro de Pesquisas da Petrobrás, Ilha do Fundão, Quadra 7 S/N – Cidade Universitária,
CEP 21949-900, Rio de Janeiro, RJ, e-mail: luisnascimento@petrobras.com.br

³ Petrobras Distribuidora S.A., Rua General Canabarro 500, sala 1403, Maracanã,
CEP 20271-900, Rio de Janeiro, RJ, e-mail: edel@br.com.br

Resumo – Este trabalho é um estudo sobre a utilização de borracha de pneus inservíveis moída em materiais para pavimentação asfáltica, e tem como objetivo apresentar os aspectos gerais de projeto, construção e avaliação do primeiro trecho experimental com asfalto-borracha na Bahia. A mistura asfáltica selecionada foi um SMA (*Stone Matrix Asphalt*) formado por agregados e ligante asfalto-borracha (CAPFLEX B), sem fibras. O CAPFLEX B é o asfalto-borracha da Petrobras Distribuidora e foi produzido na Fábrica de Emulsões Asfálticas do Vale do Paraíba (FASFVAP), em São José dos Campos, SP. Após a primeira avaliação superficial da pista, pode-se verificar que o revestimento com asfalto-borracha conferiu ganhos de atrito e de drenabilidade superficial ao trecho experimental, garantindo, além disso, boa visibilidade, com redução da aquaplanagem em dias de chuva, tornando o pavimento consideravelmente mais seguro e confortável. Com relação à durabilidade, o pavimento encontra-se perfeito, sem nenhuma deformação permanente, exceto nos locais onde os defeitos em excesso do revestimento antigo refletiram no novo.

Palavras-Chave: asfalto-borracha; SMA; pista experimental; pavimentação asfáltica; borracha de pneus

Abstract – This paper is part of a case regarding the use of scrap tires rubber in asphalt pavement, which intends to show the general aspects of the design, construction and evaluation of the first job site using asphalt rubber in the state of Bahia – Brazil. The mixture chosen was a SMA (*Stone Matrix Asphalt*), with the use of aggregate and asphalt-rubber (CAPFLEX B), without the addition of fibers. CAPFLEX B is the commercial name of the asphalt-rubber produce by Petrobras Distribuidora. This specific CAPFLEX B was made at the Asphalt Emulsion Plant of the Paraíba Valley (FASFVAP), in the city of São José dos Campos, SP. After a superficial evaluation of the track, we verified that the course with asphalt-rubber has provided an increase in friction and in superficial drainage, guaranteeing, moreover, good visibility due to reduction of the aquaplaning in rainy days, turning the course safer and more comfortable for the users. The track was met perfectly, without rutting, except in the places where the defects of the old layer had reflected through the new course.

Keywords: asphalt-rubber; SMA; field tests; asphalt pavement; tires rubber

1. Introdução

A finalidade de uma rodovia é prover um meio seguro, confortável e econômico para o transporte de pessoas e mercadorias, sendo que a construção de uma estrada abre novos horizontes para o desenvolvimento de uma região e permite a consolidação da economia regional. Isso é enfatizado pelo presidente da Confederação Nacional dos Transportes, Clésio Andrade (CNT, 2001):

“Num país rodoviarista como o Brasil, que transporta 62% de sua carga e 96% de seus passageiros por estradas, a melhoria do sistema viário é urgente não apenas para quem exerce a atividade do transporte, mas para todos os setores da economia e da sociedade em geral, que dela dependem para alcançar níveis satisfatórios de desenvolvimento. É o Brasil quem perde com a desatenção das autoridades e com a falta de técnicos especializados na área”.

De forma geral, pode-se verificar que em muitos pavimentos, após um curto período de tempo, os defeitos começam a aparecer na superfície de rolamento, causando desconforto, reduzindo a segurança e aumentando os custos para os usuários. Os principais tipos de defeitos que ocorrem nos pavimentos são as trincas por fadiga e o acúmulo de deformação permanente nas trilhas de rodas. Uma das causas da ocorrência acentuada de deformação permanente nas trilhas de roda é a baixa resistência ao cisalhamento das misturas asfálticas, que depende da susceptibilidade térmica do ligante asfáltico e do esqueleto dos agregados minerais (Neves Filho, 2004).

Devido a tal problema, viu-se a possibilidade de melhorar os revestimentos asfálticos com a adição de borracha ao ligante. A idéia surgiu em 1960 no Arizona, Estados Unidos, quando seu inventor, Charles McDonald, percebeu que os pneus triturados poderiam proporcionar maior flexibilidade ao asfalto. Com isso, vários estudos e testes foram realizados até obter o asfalto-borracha.

A borracha proporciona um aumento da flexibilidade, tornando a mistura asfáltica mais resistente ao envelhecimento e ao aparecimento de deformações (trilhas de rodas). Quando comparado ao pavimento convencional, o pavimento com asfalto-borracha apresenta maior durabilidade. Além disso, quando utilizada uma curva granulométrica adequada, reduz o nível de ruído causado pelo fluxo de veículos e auxilia na drenagem em dias de chuva (anti-spray). Pode-se dizer que uma pista com asfalto-borracha proporciona maior conforto, economia e segurança aos usuários, além do desempenho e da durabilidade serem superiores aos de uma pista construída com asfalto convencional.

No intuito de colaborar com o destino ecologicamente correto para os pneus inservíveis, o CONAMA (Conselho Nacional de Meio Ambiente), através da Resolução Nº258 de 26 de agosto de 1999 que entrou em vigor em janeiro de 2002, obriga os fabricantes e importadores de pneus a reciclarem parte dos pneus usados já vendidos para poderem colocar pneus novos no mercado, atingindo a proporção máxima em 2005, quando o percentual de reciclagem será de 5 pneus para cada 4 produzidos, o que contribuirá para a diminuição do passivo ambiental de mais de 900 milhões de pneus. Esta legislação, que vem obrigando os produtores a dar destino aos mais de 46 milhões produzidos todo ano no Brasil, encontrou no meio rodoviário um excelente parceiro para a reciclagem e minimização deste problema ecológico responsável pela proliferação de mosquitos transmissores de doenças.

O asfalto modificado por borracha moída de pneus inservíveis (ligante asfalto-borracha) já está sendo utilizado em alguns estados do Brasil desde 2001 (São Paulo, Rio de Janeiro e Rio Grande do Sul). O escopo deste trabalho é verificar o comportamento deste ligante em pavimentos flexíveis na Bahia. Portanto, tem como objetivo apresentar os aspectos gerais de projeto, construção e avaliação do primeiro trecho experimental com asfalto-borracha no estado. O trecho escolhido localiza-se na Avenida General Graça Lessa, conhecida como Vale do Ogunjá. São duas pistas, sendo uma com 320 m (2 faixas, sentido Bonocô – Vasco da Gama) e outra de 65 m no sentido contrário (Vasco da Gama – Bonocô, também com 2 faixas). A mistura asfáltica selecionada foi um SMA (*Stone Matrix Asphalt*) formado por agregados e ligante asfalto-borracha (CAPFLEX B da Petrobras Distribuidora), sem fibras.

2. Ligantes Asfálticos

Os asfaltos, materiais aglutinantes de cor escura, derivados do petróleo, podem ser utilizados em várias aplicações, como por exemplo, em impermeabilizações de construções civis e, principalmente, em obras de pavimentação (Roberts *et al.*, 1998). Em pavimentação, os asfaltos podem ser denominados ligantes asfálticos, cimentos asfálticos ou materiais asfálticos, sendo adotado neste trabalho o termo mais genérico ligante asfáltico.

Para ser utilizado em pavimentação, o ligante asfáltico, material termoplástico, precisa ser aquecido para atingir a viscosidade adequada à mistura ($>100^{\circ}\text{C}$). Além do aquecimento, as outras alternativas para tornar o asfalto trabalhável são a diluição com solventes derivados de petróleo e o emulscionamento. De forma geral, os ligantes asfálticos são classificados, de acordo com o seu processo de produção, em: cimento asfáltico de petróleo (CAP), asfalto diluído de petróleo (ADP) e emulsão asfáltica (Petrobras, 1996).

No Brasil, os CAPs são classificados pelo ensaio de penetração (CAP 30/45, CAP 50/60 e CAP 85/100) ou pelo ensaio de viscosidade (CAP 7, CAP 20 e CAP 40), onde os números indicam, respectivamente, a penetração (em 1/10 mm) e o valor mínimo para a viscosidade a 60°C (em Poise). Os asfaltos diluídos são classificados em função do tipo de solvente que é misturado ao CAP: cura rápida, CR (nafta), cura média, CM (querosene) e cura lenta, CL (gasóleo). As emulsões são classificadas de acordo com o tempo de ruptura em três tipos: ruptura rápida (RR), ruptura média (RM) e ruptura lenta (RL) (IBP, 1990).

Cerca de 32 milhões de toneladas de asfalto são produzidas anualmente nos Estados Unidos, sendo que 84% são empregados como materiais para pavimentação, 12,5% como impermeabilizantes e o restante em outros diversos

tipos de aplicações (Estakhri *et al.*, 1992). No Brasil, são produzidos pela Petrobrás cerca de 1,6 milhões de toneladas de cimento asfáltico de petróleo por ano (Leite, 1999), utilizados principalmente em pavimentação asfáltica.

Em comparação com os pavimentos de concreto de cimento Portland (pavimentos rígidos), os pavimentos flexíveis, construídos com ligante asfáltico e agregado pétreo, apresentam menor custo de construção e proporcionam um conforto muito maior aos usuários, pois não requerem a construção de juntas de dilatação. Essas têm sido as principais razões do grande emprego de ligantes asfálticos em obras de pavimentação (Zaman *et al.*, 1995), principalmente em misturas asfálticas usadas na camada de revestimento.

Nos pavimentos, o ligante asfáltico pode ser exposto a uma grande variação de temperatura (-20 a +60°C) e de carregamento, suportando considerável deformação quando submetido a cargas durante um determinado período de tempo. Somente sob condições extremas o CAP se comporta como sólido elástico (baixa temperatura e pequeno tempo de carregamento) ou como líquido viscoso (alta temperatura e grande tempo de carregamento). Portanto, a susceptibilidade à temperatura e ao tempo de carregamento de um CAP é uma variável importante no desempenho de pavimentos.

Um ligante apresenta menor resistência à deformação permanente no início de sua vida em serviço, quando sua rigidez é menor, sendo afetado também pelas temperaturas elevadas e por veículos trafegando a baixas velocidades (maior tempo de aplicação de carga). Por outro lado, a resistência às trincas por fadiga diminui com o envelhecimento, o qual aumenta a rigidez e diminui a ductilidade do ligante. O desempenho das misturas asfálticas, portanto, é função das propriedades do ligante asfáltico.

A importância dos ligantes asfálticos para o desempenho dos pavimentos flexíveis tem levado ao uso de aditivos para melhorar suas propriedades físicas, mecânicas e químicas, aumentando a resistência à formação de defeitos. São adicionados aos cimentos asfálticos produtos como agentes melhoradores de adesividade (DOPE), agentes rejuvenescedores, polímeros e, particularmente, borracha moída de pneus inservíveis.

3. Processos de Adição da Borracha – Via Úmida e Via Seca

Além da borracha, o pneu contém fibras e aço. A borracha de pneu é composta por uma mistura de borracha natural, borracha sintética e negro de fumo. A borracha natural fornece as propriedades elásticas, enquanto a borracha sintética proporciona a estabilidade térmica. Os materiais argilo-minerais e negro-de-fumo (carvão) tem como objetivo proporcionar um material mecanicamente mais resistente, mas são também responsáveis pela coloração negra dos pneus. A borracha natural é obtida principalmente através das seringueiras (na forma de látex), que são "sangradas" por um corte na casca mais externa. A borracha sintética e o negro de fumo são derivados do petróleo. O negro de fumo é obtido principalmente através da queima de petróleo em fornos especiais. Outros ingredientes químicos, tais como enxofre, plastificantes, aceleradores, anti-oxidantes necessários ao processo de manufatura do pneu, são fornecidos por várias indústrias químicas (Lago, 2002).

A borracha moída de pneus, após ser submetida a algum processo de trituração, pode ser incorporada às misturas asfálticas de duas formas distintas: "via seca" ou "via úmida". O termo "via seca" define o método que mistura a borracha com o agregado mineral, antes da adição do ligante asfáltico. Neste caso, a borracha triturada recebe o nome de agregado-borracha. O termo "via úmida" define o método de mistura da borracha moída com o ligante asfáltico, antes da adição do agregado mineral, dando origem ao chamado "ligante asfalto-borracha". O processo via seca emprega de 3 a 5% de borracha moída, em relação à massa total de agregados minerais. A quantidade de borracha incorporada ao cimento asfáltico, pelo processo via úmida, varia de 5 a 25% sobre a porcentagem de ligante asfáltico.

O processo por via seca, apesar de retirar de circulação pneus usados, não melhora significativamente o revestimento asfáltico, uma vez que a borracha moída participa da massa como carga, não transferindo suas propriedades ao ligante asfáltico.

No processo via úmida, o ligante asfalto-borracha é obtido a partir da adição da borracha moída ao ligante asfáltico, em um tanque de reação, sob temperaturas entre 175 e 200°C. Após o período de reação, o produto obtido fica armazenado em outro tanque, que deve conter um sistema mecânico de agitação constante, a fim de manter a mistura dispersa, de forma a evitar a deposição das partículas que não reagiram parcial ou completamente com o ligante asfáltico.

Inicialmente, o ligante asfalto-borracha foi empregado em atividades de manutenção e reabilitação de pavimentos, como selante de juntas e trincas, sendo recomendado tanto para pavimentos rígidos quanto flexíveis. Além disso, o ligante asfalto-borracha pode ser empregado em misturas asfálticas densas (Concreto Betuminoso Usinado a Quente, CBUQ) e descontínuas (SMA e *Gap-Graded*), e abertas (Camadas Porosas de Atrito - CPA), na construção de tratamentos superficiais, em membranas de absorção de tensões (*Streets Absorbing Membrane*, SAM) e membranas intermediárias de absorção de tensões (*Streets Absorbing Membrane Interlayer*, SAMI).

Outros elementos podem ser empregados na produção do ligante asfalto-borracha, tais como óleos extensores, diluentes, dispersantes e outros, visando conferir ao produto final propriedades específicas (maior estabilidade, ajuste da viscosidade, aumento da adesividade, melhoria das condições elásticas etc.)

4. Benefícios do Uso do Asfalto-Borracha na Pavimentação

Os principais benefícios comprovados do asfalto-borracha na pavimentação são:

- Aumento da vida útil do pavimento;

- Maior resistência à formação de trilhas de roda, à reflexão de trincas e ao envelhecimento;
- Proporciona pavimentos mais seguros, confortáveis e silenciosos.

A borracha proporciona ganhos de flexibilidade, de coesão e de resistência ao envelhecimento, tornando a mistura asfáltica mais resistente à fadiga e ao aparecimento de deformações (trilhas de rodas), aumentando a durabilidade do revestimento.

Os ligantes modificados com borracha de pneu têm viscosidade bem mais elevada que a de ligantes convencionais, que aliada à sua excelente coesão e flexibilidade, permite a sua utilização em misturas asfálticas especiais, tais como camadas porosas de atrito (CPA), *Stone Mastic Asphalt (SMA)* e *Gap-Graded*. Tais misturas proporcionam superfícies de pavimento com excelente macro-textura, o que se traduz em ganhos no atrito pneu-pavimento e na drenabilidade superficial, melhorando a visibilidade (anti-spray) e reduzindo os riscos de aquaplanagem em dias de chuva.

Um ganho que tem sido bastante considerado, também, é a redução do ruído gerado pelo tráfego de veículos quando são utilizadas essas misturas especiais com asfalto-borracha. Um estudo realizado pelo Centro de Pesquisas da Petrobras, na rodovia Anhanguera (SP 330), em Araras – SP, verificou que com o uso de um revestimento de asfalto-borracha *Gap-Graded* em substituição a um revestimento convencional, conseguiu-se reduzir o nível de ruído de 78 dB(A) para 75 dB(A). Em termos práticos, essa queda significa uma redução equivalente de 25% do tráfego de veículos na rodovia, ou seja, o nível de ruído cai à metade.

Resumindo, pode-se dizer que uma pista com asfalto-borracha bem executada proporciona maior conforto, economia e segurança aos usuários, além da durabilidade ser superior à de uma pista construída com asfalto convencional.

5. Pista Experimental

5.1. Localização

O trecho selecionado para construção da pista experimental com ligante asfalto-borracha está localizado na Av. General Graça Lessa, no Vale do Ogunjá, em Salvador, BA. São duas pistas, sendo uma com 320,0 m (2 faixas, sentido Bonocô – Vasco da Gama + uma faixa adicional de 50,0 m de comprimento e 1,7 m de largura) e outra no sentido contrário de 65,0 m (Vasco da Gama – Bonocô, também com 2 faixas).

Vale salientar que o trecho está localizado em um ponto de comércio de acessórios de veículos e oficinas mecânicas, sendo que a faixa da direita (cerca de 150,0 m) é usada como acesso (entrada/saída) de veículos. Por esse motivo é uma zona de carregamento excessivo a baixa velocidade, além de ponto de frenagem de veículos devido à existência de uma curva (que provoca a redução da velocidade dos veículos) e de um semáforo no fim do trecho. O trecho no sentido Vasco da Gama - Bonocô está localizado no fim de uma curva, também com entrada e saída de veículos devido à existência de concessionárias, o que implica em um trecho de desaceleração e aceleração de veículos.

Verificou-se a presença de alguns defeitos localizados, como remendos, trincas por fadiga, trincas longitudinais, trincas por reflexão, escorregamento de massa asfáltica e deformações acentuadas.

5.2. Materiais

O material asfáltico utilizado foi o ligante asfalto-borracha, CAPFLEX B, da Petrobras Distribuidora. O CAPFLEX B tem como base o cimento asfáltico de petróleo (CAP 50/60) e borracha moída de pneus inservíveis. A incorporação da borracha no asfalto foi realizada, na Fábrica de Emulsões Asfálticas do Vale do Paraíba (FASFVAP) localizada em São José dos Campos, SP. As propriedades do ligante encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1. Propriedades do CAPFLEX B

Ensaio	Resultados	Método
Penetração (100g, 25°C, 5 seg) (dmm)	55	ASTM D 5
Ponto de amolecimento (°C)	62	ASTM D 36
Recuperação elástica (%)	62,5	ASTM D 6084
Viscosidade Brookfield (sp 31, 6 rpm) (cP) @ 175 °C	2.900	ASTM D 4402

A seleção dos agregados foi realizada em função de suas propriedades, principalmente em função da resistência ao desgaste por Abrasão Los Angeles, uma vez que para misturas descontínuas a especificação (DNIT ME 035/94) exige que seja inferior a 30%. Os agregados empregados são os mais utilizados em obras de pavimentação da região de Salvador, BA. Os agregados (brita 5/8" e brita 3/8") foram obtidos da Pedreira Valéria e o pó de pedra foi obtido da Pedreira Omacio. O filer (material de enchimento que passa na peneira #200) utilizado foi o pó calcário, adquirido da Calcário Industrial Mineral. A Tabela 2 apresenta os resultados da caracterização dos agregados.

Tabela 2. Caracterização dos agregados

Ensaio	Resultados	Especificação	Método
Desgaste por Abrasão Los Angeles (%)	20	máx 30%	DNIT ME 035/94
Densidade aparente dos grãos (g/cm ³)	2,737	-	DNIT ME 043/95

Densidade efetiva (g/cm ³)	2,747	-	ASTM D2041
--	-------	---	------------

5.3. Mistura Asfáltica

Para o trecho experimental foi escolhida uma mistura asfáltica SMA (*Stone Matrix Asphalt*) formada por agregados e ligante asfalto-borracha (CAPFLEX B), sem fibras. A mistura SMA apresenta granulometria descontínua, composta por uma maior fração de agregados graúdos britados, uma massa de ligante e filler (cerca de 10% passando na peneira #200), chamada de mastique, e aproximadamente 4% de volume de vazios. Essas misturas formam um esqueleto de alta estabilidade devido ao elevado contato pedra-pedra (Neves Filho, 2004). A Tabela 3 apresenta a granulometria da mistura SMA (AASHTO, 2000) aplicada e a Tabela 4 apresenta os parâmetros volumétricos.

Tabela 3. Granulometria da mistura SMA (AASHTO, 2000)

Peneira #	Abertura (mm)	AASHTO 9,5 mm	Mistura SMA
3/4"	19,1	100	100,0
1/2"	12,7	100	91,0
3/8"	9,52	70 - 95	83,0
4	4,76	30 - 50	44,0
8	2,38	20 - 30	22,0
16	1,19	21	15,3
30	0,60	18	12,0
50	0,297	15	10,0
200	0,075	8 - 12	9,0

Tabela 4. Parâmetros volumétricos

Parâmetros	Valores
Teor de asfalto-borracha (%)	6,4
Densidade aparente (g/cm ³)	2,386
Volume de vazios (%)	3,9

A mistura SMA com asfalto-borracha foi feita em uma usina gravimétrica e ficou a cargo da Construtora Lustoza com a orientação e supervisão da Petrobras Distribuidora e da Universidade Salvador. A usina de asfalto da Construtora Lustoza localiza-se na Via Parafuso, km 1,5 (estrada para Camaçari, BA), distante cerca de 40,0 km do local de aplicação.

5.4. Execução

A execução do trecho foi realizada pelas empresas Barra's Construtora e Construtora Lustoza. Antes do espalhamento da "massa asfáltica" (mistura SMA) foi realizada uma pintura de ligação com emulsão asfáltica (RR-1C). O espalhamento da massa asfáltica na pista foi realizado com o auxílio de uma vibro-acabadora. A compactação foi realizada com um rolo de chapa vibratório e um rolo de pneus, sendo ambos borrifados com óleo vegetal para evitar que ocorresse a aderência da massa asfáltica nas rodas.

Apesar de altamente recomendável, não foi realizada qualquer fresagem ou remoção de material subjacente antes da aplicação do novo revestimento.

6. Resultados Obtidos

Durante a construção da pista experimental foi feito um acompanhamento tecnológico da obra. Imediatamente após a sua execução, a pista apresentou um bom acabamento superficial, alcançando, visualmente, as características esperadas para um SMA. Porém, a primeira avaliação técnica do pavimento foi feita quatro meses após sua execução. O escopo desta avaliação foi determinar as propriedades superficiais do revestimento e fazer um levantamento de defeitos.

O principal objetivo da avaliação superficial foi determinar a macro-textura, micro-textura e a permeabilidade do revestimento. A determinação da macro-textura, teste que mede a rugosidade da superfície, foi feita através do ensaio de manchamento de areia (ASTM E-965-96). A micro-textura, por sua vez, foi determinada utilizando-se o Pêndulo Britânico (ASTM E-303-93), enquanto que a permeabilidade foi determinada segundo metodologia do *National Center for Asphalt Technology* (NCAT), modificada pelo Centro de Pesquisas da Petrobrás (CENPES).

A macro-textura obtida foi em média 0,60 mm, sendo que este valor para revestimentos convencionais geralmente é inferior a 0,30 mm. Já a micro-textura oscilou na faixa 45-55 BPN. Com os resultados da macro e micro-texturas, pôde-se calcular o *International Friction Index* (IFI, método ASTM E-1960-98), que é uma estimativa do atrito pneu-pavimento de um veículo trafegando a 60 km/h em pista molhada. Os valores calculados variaram de 0,18 a 0,22 na trilha de roda e 0,22 a 0,28 no centro da pista, mostrando que o efeito do tráfego causou uma leve perda de atrito. Porém, este valor é da ordem de 0,10 para revestimentos convencionais, mostrando que houve um ganho de 2 ou 3 vezes no índice de atrito. Com relação à permeabilidade, verificou-se que em alguns pontos o revestimento é impermeável, enquanto que em outros, a permeabilidade variou de 500×10^{-5} cm/s a 7800×10^{-5} cm/s, valores estes compatíveis para revestimentos deste tipo.

Conforme já explicitado, foi feito um levantamento de defeitos. Foi seguida a metodologia DNER-PRO 08/94 (Avaliação Objetiva de Pavimentos Flexíveis e Semi-rígidos), que estabelece um índice numérico dos defeitos, chamado Índice de Gravidade Global (IGG). Verificou-se que havia três pequenos trechos (10,0 m de extensão) que estavam com problemas: os dois primeiros apresentaram um pequeno deslocamento de massa e o terceiro onde ocorreu um derramamento de óleo diesel durante a construção da pista, que resultou em um buraco de aproximadamente 1,0 por 1,5 m. Porém, o restante da pista estava perfeito, sem defeitos e com deformação permanente zero, resultando num IGG excelente. Cabe lembrar, que os defeitos presenciados foram causados exclusivamente pelo mau estado da camada subjacente que deveria ter sido removida (fresada) previamente à aplicação da camada de asfalto-borracha, e também pela drenagem insuficiente, exceto o defeito causado pelo derramamento de óleo.

Por fim, pode-se dizer que este revestimento com asfalto-borracha conferiu ganhos de atrito e de drenabilidade superficial ao trecho experimental, garantindo, além disso, boa visibilidade e redução da aquaplanagem em dias de chuva, tornando o pavimento consideravelmente mais seguro e confortável. Com relação à durabilidade, o pavimento encontra-se perfeito, sem nenhuma deformação permanente, exceto nos locais mencionados anteriormente, onde os defeitos em excesso do revestimento antigo refletiram no novo. Observou-se também uma redução no nível de ruído gerado pelo conforto pneu-pavimento.

Em termos de trabalhos futuros, além de avaliações semestrais ao longo dos anos, num futuro próximo serão coletados corpos-de-prova na pista para determinação de sua composição (massa específica, teor de ligante e granulometria) e propriedades mecânicas. Além disso, serão feitos levantamentos de deflexões no pavimento com o uso da viga Benkelman, visando avaliar os aspectos estruturais do pavimento, sendo que, só as avaliações ao longo do tempo poderão gerar dados conclusivos relativos à durabilidade do revestimento com asfalto-borracha.

7. Agradecimentos

O desenvolvimento deste trabalho só foi possível porque contou com o apoio da Petrobras Distribuidora, da Prefeitura Municipal de Salvador, da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia (FAPESB), da Universidade de São Paulo e do Centro de Excelência em Asfalto (CEASF).

8. Referências Bibliográficas

- AASHTO. MP8 – *Specification for Designing SMA*. American Association of State Highways Transportation Officials, 2000.
- COOLEY, L. ALLEN JR. *Permeability of Superpave Mixtures: Evaluation of Field Permeameters*. NCAT Report N°99-1, 1999.
- ESTAKHRI, C. K.; BUTTON, J. W.; FERNANDO, E. G. *Use, Availability, and Cost-Effectiveness of Asphalt Rubber in Texas*. Transportation Research Record 1339, TRB, Washington, DC, p.30-37, 1992.
- IBP. *Informações Básicas sobre Materiais Asfálticos*. 5ª ed. Instituto Brasileiro de Petróleo. Rio de Janeiro, RJ. 68 p., 1990.
- LEITE, L. F. M. *Estudos de Preparo e Caracterização de Asfaltos Modificados por Polímero* - Tese Doutorado. COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro, RJ, 1999.
- NEVES FILHO, C. L. D. *Avaliação Laboratorial de Misturas Asfálticas SMA Produzidas com Ligante Asfalto-Borracha*. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 2004.
- PETROBRAS. *Manual de Serviços de Pavimentação*. Petrobrás Distribuidora S.A., Rio de Janeiro, RJ, 1996.
- ROBERTS, F. L.; KANDHAL, P. S.; BROWN, E. R.; LEE, D-Y; KENNEDY, T. W. *Hot Mix Asphalt Materials, Mixture Design, and Construction* - NAPA Educational Foundation - Lanham, Maryland, 1998.
- ZAMAN, A. A.; FRICKE, A. L.; BEATTY, C. L. *Rheological Properties of Rubber-Modified Asphalt*. Journal Transportation Engineering, ASCE, vol.121, N° 6, nov/ dec, p.461-467, 1995.