

Universidade do Minho

[CN-38]

Fontes, L.P.T.L., Trichês, G., Pereira, P.A.A., **Pais, J.C.**

“Comportamento à fadiga e à deformação permanente de misturas asfálticas confeccionadas com asfalto-borracha brasileiro”

19º Encontro de Asfalto, Rio de Janeiro, Brasil, 9 a 11 de Junho, 2008



COMPORTAMENTO À FADIGA E À DEFORMAÇÃO PERMANENTE DE MISTURAS ASFÁLTICAS CONFECCIONADAS COM ASFALTO-BORRACHA BRASILEIRO

Liseane P. T. L. Fontes¹, Glicério Trichês², Paulo Pereira³, Jorge C. Pais⁴

Copyright 2008, Instituto Brasileiro de Petróleo, Gás e Biocombustíveis - IBP

Este Trabalho Técnico foi preparado para apresentação no 19º Encontro de Asfalto, realizado no período de 9 a 11 de junho de 2008, no Rio de Janeiro. Este Trabalho Técnico foi selecionado para apresentação pelo Comitê Organizador do Evento, seguindo as informações contidas no trabalho completo submetidos pelo(s) autor(es). 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 Técnico seja publicado nos Anais do 19º Encontro de Asfalto.

Resumo

O crescente e cada vez mais pesado tráfego atuante nas rodovias brasileiras suscitou o desenvolvimento e a busca de novas tecnologias e materiais para atender as necessidades de melhor desempenho das rodovias brasileiras. Esta busca trilhou caminhos já percorridos por vários países europeus e Estados Unidos da América procurando adaptar-se e melhorar as soluções lá desenvolvidas. Entretanto, a falta de equipamentos apropriados para a caracterização adequada do comportamento mecânico de ligantes e misturas asfálticas tem limitado o desenvolvimento de pesquisas no Brasil. Este trabalho caracteriza-se por ser o primeiro estudo brasileiro em que se utilizou asfalto-borracha, obtido pelo processo *terminal blend*, genuinamente brasileiro, para avaliar o comportamento à fadiga através do ensaio de flexão em 4 pontos de misturas asfálticas confeccionadas com este ligante. Para tanto, buscou-se a parceria com uma Instituição europeia para que pudesse ser realizado este estudo. Assim, foram testadas misturas asfálticas com asfalto-borracha *terminal blend* e comparadas a uma mistura convencional de referência confeccionada com CAP-50/70 usualmente aplicada em revestimentos de rodovias brasileiras. Os resultados mostraram que as misturas asfálticas com asfalto-borracha produzido no Brasil possuem um desempenho muito superior em relação à mistura confeccionada com ligante convencional 50/70.

Abstract

The continuous growth of heavy road traffic on the Brazilian highways has led the Brazilian Road Administrations to the search and development for new technologies and materials to improve and ensure a better performance, following some American and European models. This work intends to meliorate the solutions adapted by the Brazilian Road Administration. However, the lack of appropriate equipments for the correct characterization of the mechanical behaviour of asphalt and asphalt mixtures has limited the development of researches in the country. This research may be considered to be the first Brazilian study using asphalt rubber, obtained through terminal blend process, genuinely Brazilian, in order to evaluate the fatigue behaviour of asphalt-rubber mixtures through 4-point bending tests, in partnership with an European Institution. Thus, asphalt mixtures with asphalt-rubber terminal blend have been tested and compared to a conventional mixture of reference produced with CAP 50/70, which is usually applied on Brazilian highway surfaces. The results showed that asphalt mixtures containing asphalt rubber have a very superior performance in relation to the conventional mixture with CAP 50/70.

¹ Mestre, Doutoranda – UFSC/UMINHO

² Professor, Doutor – Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

³ Professor Catedrático, Doutor – Universidade do Minho - UMINHO, Portugal

⁴ Professor, Doutor – Universidade do Minho - UMINHO, Portugal

1. Introdução

O Brasil transporta cerca de 60% de sua riqueza através das rodovias. Apesar da grande importância da malha viária para o desenvolvimento do País, os pavimentos brasileiros encontram-se com severas degradações como trincamento por fadiga e deformações permanentes. Os principais fatores que contribuem para a deterioração da malha rodoviária são o elevado volume de tráfego pesado, a falta de manutenção, pouca alocação de recursos, falta de investimentos e a idade dos pavimentos.

Os revestimentos dos pavimentos brasileiros são constituídos principalmente por camadas asfálticas produzidas com asfaltos convencionais que não se têm demonstrado eficazes face ao aparecimento prematuro de patologias antes de atingida a vida de projeto esperada. O emprego de misturas com polímeros, como por exemplo os asfaltos modificados com borracha de pneus usados, é uma alternativa de melhoria do desempenho dos revestimentos asfálticos brasileiros

Nos últimos anos tem crescido no mundo a preocupação com os problemas ambientais e o desperdício de materiais. A reciclagem de materiais, como por exemplo, o aproveitamento como pneus usados, tem gerado um grande apelo ecológico no meio rodoviário. Tratando-se da reciclagem de pneus, o Brasil está posicionado em um patamar de excelência uma vez que através da Resolução CONAMA 258/99, deu o primeiro passo para a regulamentação do setor, estabelecendo exigências de contrapartida ambiental nas quais as empresas fabricantes e as importadoras de pneumáticos ficam obrigadas a coletar e dar destino final ambientalmente adequado aos pneus inservíveis existentes no território nacional. Os pneus representam um desafio em relação à disposição e reciclagem, uma vez que não são aceitos em coletas de lixo devido às características como tamanho, forma e composição química e também não se decompõem na natureza, contribuindo para a proliferação de mosquitos e doenças. No entanto, os pneus usados, após triturados sob determinadas condições, constituem um grande recurso na melhoria das propriedades das misturas asfálticas tais como: maior resistência à fadiga e à deformação permanente e a capacidade de retardar a propagação de trincas.

Os métodos mecanicistas de dimensionamento de reforço de pavimentos contemplam como critérios de ruptura a fadiga (controle da deformação de tração na fibra inferior da camada asfáltica) e as deformações permanentes na zona de passagem das rodas dos veículos. Para tanto, avaliam-se as tensões e as deformações no sistema de multicamadas elásticas e isotrópicas, comparando-se os resultados obtidos com as solicitações e deformações admissíveis que os materiais são capazes de resistir. Todavia, isto somente se torna possível caso se disponha de modelos de fadiga e de comportamento para estas misturas.

Considerando que o Brasil ainda carece da determinação de curvas de fadiga de misturas com asfalto-borracha, este trabalho tem como objetivo apresentar pela primeira vez ao meio rodoviário brasileiro curvas de fadiga obtidas em ensaios de 4 pontos em misturas asfálticas confeccionadas com asfalto-borracha genuinamente fabricado no Brasil. Os ensaios de laboratório foram realizados na Universidade do Minho, em Portugal, e para realizá-los foram transportados para Portugal cerca de uma tonelada de materiais asfálticos e borracha de pneus.

2. Asfalto-Borracha

A incorporação de polímeros em materiais asfálticos, como por exemplo a borracha de pneus usados, tem como objetivo modificar as características destes materiais, conferindo uma melhoria em seu desempenho mecânico.

Esta incorporação tem sido empregada há muitos anos no exterior. No Brasil, esta tecnologia chegou no final da década de 90 do século passado. Desde então, pelo menos quatro mil de quilômetros de rodovias foram pavimentadas no Brasil utilizando-se misturas confeccionadas com asfalto-borracha. Contudo, o uso desta nova tecnologia ainda carece de estudos no Brasil sobre o comportamento mecânico para se prever o desempenho deste tipo de mistura como camadas de revestimento.

A borracha granulada de pneus utilizada na modificação dos asfaltos pode ser obtida através do processo ambiente no qual a borracha é triturada à temperatura ambiente ou pelo processo criogênico que utiliza temperaturas inferiores a -120 °C na redução dos pneus.

O asfalto-borracha pode ser introduzido em uma mistura asfáltica através de dois processos: o úmido e o seco. No processo seco, a borracha moída é usada como uma parcela de agregado fino enquanto que no processo úmido, ela é incorporada previamente ao ligante e atua como um agente modificador.

O processo úmido abrange dois sistemas de produção: o *continuous blend* e o *terminal blend*. No sistema *continuous blend*, a modificação do asfalto é feita em tanques na própria usina de asfalto ou em carretas especialmente adaptadas para este fim, controlando-se a temperatura e o tempo de digestão. Neste sistema, o ligante modificado deve ser utilizado até quatro horas após a sua produção para garantir a manutenção das suas características. No sistema *terminal blend*, o asfalto-borracha é produzido em uma planta industrial, cuja principal característica é a incorporação da borracha ao asfalto convencional através de potentes moinhos cisalhantes, em tempo e temperatura controlados. Os asfaltos-borracha *terminal blend* possuem estabilidade à estocagem, podendo ser transportados para a obra, sem perda

das suas propriedades. Este processo é o que tem predominado no Brasil. Além disso, no Brasil os teores de borracha incorporados aos ligantes são maiores que os empregados em outros países.

O presente trabalho tem por objetivo apresentar os resultados de uma pesquisa cujo um dos objetivos foi avaliar a influência da modificação de um asfalto convencional (CAP 50/70) pela incorporação de borracha de pneu inservível moída no comportamento de misturas asfálticas à fadiga e deformação permanente. Foram utilizados ligantes asfalto-borracha produzido na forma *terminal blend* (fornecido por uma empresa brasileira) e na forma *contínuos blend* (produzido em laboratório) e ligante convencional (CAP 50/70) (brasileiro). A granulometria utilizada foi do tipo densa (do Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transporte e do Instituto do Asfalto).

3. Fadiga das Misturas Asfálticas

As camadas asfálticas estão sujeitas a carregamentos em pequenos intervalos de tempo quando os veículos circulam sobre eles e causam micro degradações que resultam na perda da rigidez do material e, por acumulação, conduzem ao fenômeno da fadiga (Di Benedetto e De La Roche, 1998). O fenômeno de fadiga é descrito como um processo de deterioração estrutural que um material sofre quando submetido a um estado de tensões e de deformações de tração repetidas, resultando em fissuras ou na sua ruptura completa.

As leis de fadiga podem ser obtidas em ensaios de campo e laboratório, sendo estes menos dispendiosos e de mais fácil condução. Todavia, o tipo de carregamento que ocorre no pavimento sob a ação do tráfego é de difícil simulação e reprodução em laboratório. Em geral, no laboratório aplicam-se ciclos de carga que se mantêm iguais ao longo do tempo, embora seja possível aplicar ondas de carga com formas variadas, controlando-se a tensão ou a deformação de tração que se aplicam em cada ciclo de carga (Capitão, 2003). Assim, o carregamento pode ser aplicado à tensão controlada, em que a carga ou a amplitude da tensão permanece constante durante o ensaio, ou deformação controlada, onde a deformação ou a amplitude da deformação são mantidas constantes durante o ensaio (Pais, 1999).

O critério de ruptura em ensaios de fadiga à deformação controlada usualmente utilizado para definir a ruptura por fadiga, é definido como a condição do material que corresponde ao decréscimo de 50% da sua rigidez inicial. Nestes ensaios, a relação entre o número de ciclos de carga para a ruptura e a deformação de tração é expressa através da Equação 1 (Monismith et al., 1971):

$$N = a (1/\varepsilon)^b \quad (1)$$

onde: N = vida de fadiga expressa em termos de número de solicitações de carga para a ruptura;

ε = deformação de tração; e

a, b = constantes determinadas experimentalmente.

3.1. Ensaio de Fadiga e de Módulo

Para a realização de ensaios de módulo e de fadiga foi utilizado um equipamento servo-hidráulico (Figura 1a) constituído por uma estrutura de carga, um grupo hidráulico e uma câmara climática para controle da temperatura durante todo o ensaio, dentro da qual se encontra um dispositivo que permite a realização de ensaios de flexão em 4 pontos (Figura 1b).

O ensaio utilizado para determinação das curvas de fadiga foi o flexão a 4 pontos em vigas prismáticas, realizados de acordo com a norma AASHTO TP8-94 (*Standard Test Method for Determining the Fatigue Life of Compacted Hot Mix Asphalt (HMA) Subjected to Repeated Flexural Bending*). Os ensaios foram conduzidos a deformação controlada, com frequência de 10 Hz e temperatura de 20°C, aplicando-se um carregamento sinusoidal (senoidal) alternado sem período de repouso.

No carregamento em 4 pontos, a existência de uma zona central de momento fletor constante, com esforço de cisalhamento nulo, se constitui num dos ensaios mais indicados para a realização de ensaios de resistência à fadiga. As Figuras 1a e 1b, mostram o equipamento utilizado (CS7800 *Asphalt Fatigue Testing Fixture*) e no dispositivo para acondicionamento do corpo-de-prova. A Figura 2 ilustra as dimensões dos corpos-de-prova utilizados e a geometria do carregamento aplicado.

As propriedades relativas à rigidez dos materiais são representadas em termos do módulo dinâmico e do ângulo de fase. O ensaio de módulo complexo é realizado no mesmo equipamento de avaliação da resistência à fadiga, sendo que o resultado é expresso através do módulo dinâmico. De acordo com a norma ASTM D 3497 (1995), o módulo dinâmico é conceituado como “o valor absoluto do módulo complexo que define as propriedades elásticas de um material viscoelástico linear submetido a um carregamento sinusoidal”, sem períodos de repouso. O módulo complexo é um número complexo definido como a razão entre a amplitude complexa de uma tensão sinusoidal a uma pulsação ou velocidade angular ($\omega = 2\pi Fr$) aplicada a um material e a amplitude complexa de uma deformação de tração sinusoidal.

Considerando o carácter viscoelástico do material, a deformação possui um atraso em relação à tensão, que é representado pelo ângulo de fase ou de defasagem (Di Benedetto e De La Roche, 1998).

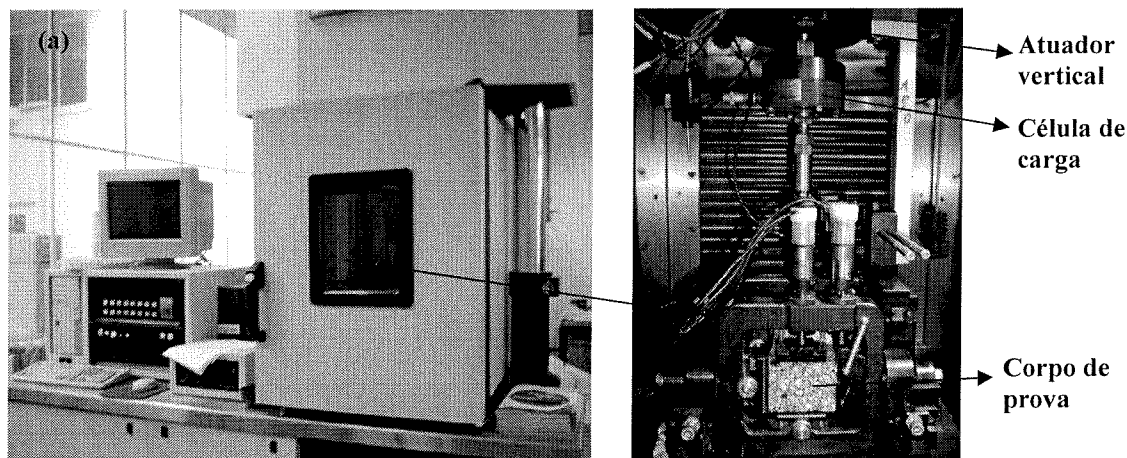


Figura 1. (a) Equipamento servo hidráulico e aquisição de dados e (b) dispositivo para ensaio de flexão em 4 pontos no interior da câmara de controle de temperatura

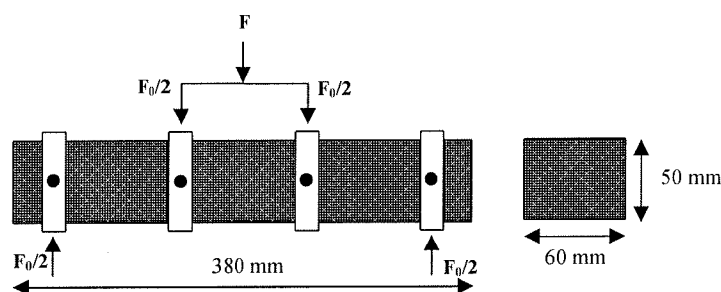


Figura 2. Representação do carregamento aplicado no ensaio de flexão em 4 pontos

4. Mecanismo e Ensaio de Deformação Permanente

Eisenmamm & Hilmer (1987) concluíram que a deformação permanente era causada principalmente pela deformação de fluência sem mudança de volume. Na abertura ao tráfego (fase inicial), o aumento da deformação irreversível que ocorre na região de atuação das rodas dos caminhões é claramente superior do que nas zonas de soleamento. Nesta fase inicial, a compactação das camadas do pavimento pelo tráfego tem uma grande importância na deformação permanente. Após a fase inicial, o volume do material nas trilhas de roda é aproximadamente igual ao volume das zonas de irrompimento adjacentes. Isto é uma indicação que a compactação devida ao tráfego está completa e que a partir desta fase a deformação permanente é causada essencialmente por deslocamento com constância de volume. Esta fase é considerada representativa do comportamento da deformação permanente durante a vida do pavimento.

Sousa et al. (1994) referem que as deformações permanentes se devem à densificação da mistura devido à aplicação repetida das cargas dos veículos pesados e à ação das tensões de cisalhamento (corte) que ocorrem junto da superfície dos pavimentos, na região de atuação do tráfego. Desta investigação eles concluíram que a deformação permanente que ocorre no revestimento se deve ao fenómeno de deformação plástica por cisalhamento sem variação de volume, causada por tensões de cisalhamento existentes junto ao limite da área de contacto entre os pneus dos veículos pesados e o pavimento.

O fenómeno de deformação plástica por cisalhamento sem variação de volume é bem representado pelo ensaio de ensaio de cisalhamento simples a altura constante RSST-CH (*Repetitive Simple Shear Test at Constant Height*), padronizado pela AASHTO TP7. O equipamento utilizado para realização do ensaio RSST-CH (CS 7400S *Shear testing Machine*) é composto por dois atuadores mecânicos, um horizontal e outro vertical (Figura 3a), sendo o ensaio realizado conforme esquema mostrado na Figura 3 (b). O atuador horizontal controla a magnitude das tensões de cisalhamento aplicadas enquanto que o atuador vertical garante que o corpo-de-prova, ensaiado sob tensão controlada,

mantenha a altura constante durante o ensaio. O resultado consiste em medir a deformação permanente de cisalhamento acumulada ao longo do ensaio que gera uma trilha de roda de 12,7 mm nas misturas relacionando-a com o número de eixos de 80 kN (ESAL) que a produziu. Os corpos-de-prova cilíndricos (altura de 50 mm e diâmetro de 150 mm) são colados aos pratos do equipamento.

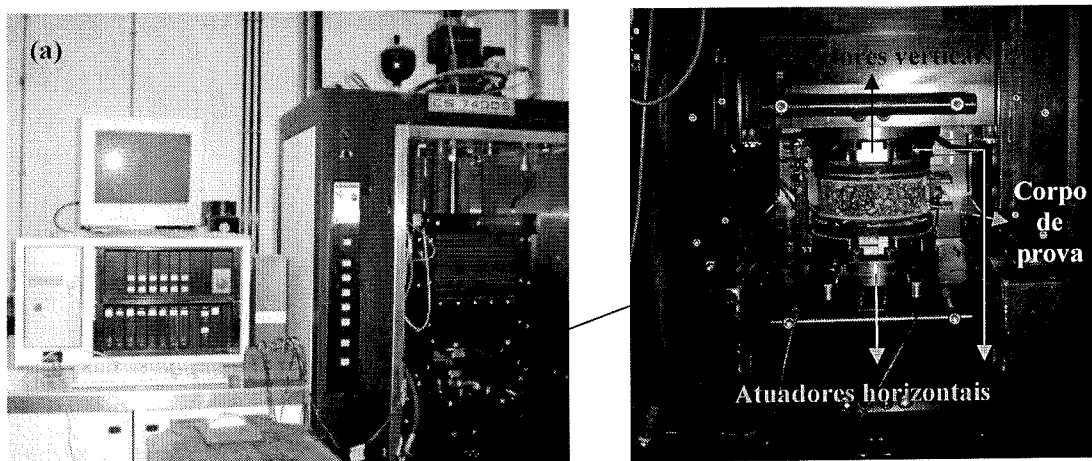


Figura 3. (a) Equipamento para execução do ensaio RSST-CH e esquema do ensaio RSST-CH

5. Caracterização dos Materiais Empregados

Os agregados graníticos britados foram provenientes de uma pedreira localizada no norte de Portugal contendo as mesmas características dos agregados encontrados na região de Florianópolis. De modo a satisfazer às exigências granulométricas, um filer calcário calcítico foi adicionado às misturas (3% em peso). Todos os agregados foram testados e satisfazem às especificações exigidas para o uso em misturas asfálticas.

O asfalto convencional utilizado para produção dos asfaltos borracha e da mistura de referência foi o CAP-50/70 (DNIT 095/2006 – EM).

A borracha de pneus utilizada foi obtida via processo ambiente e enquadrada na especificação granulométrica do *Arizona Department of Transportation, Rubber Type B (ADOT Construction Manual Section 1009, 2005)*. O asfalto-borracha do tipo *terminal blend (A)* foi produzido no Brasil com uma porcentagem de borracha de 15%. No caso do asfalto-borracha do tipo *continuos blend (B)*, as variáveis porcentagem de borracha, tempo de digestão e temperatura de digestão foram determinadas em laboratório após um processo de otimização que levou em conta os resultados dos seguintes ensaios: penetração, ponto de amolecimento, resiliência e viscosidade aparente (viscosímetro Brookfield). Como resultado, este asfalto-borracha foi produzido com 21% de borracha a uma temperatura de 180 °C durante um tempo de digestão de 90 minutos. Os resultados dos ensaios de caracterização do CAP-50/70 e dos asfaltos-borracha são apresentados na Tabela 1. De acordo com estes resultados (Tabela 1), os asfaltos-borracha atendem as especificações ASTM D 6114 (1997). Os asfaltos-borracha empregados apresentam elevados valores de viscosidade, sendo este um atributo desejável, pois conduz a um melhor desempenho à deformação permanente da mistura, à redução da propagação de fendas e da desagregação da mistura, a uma melhor susceptibilidade térmica e maior durabilidade. Com os asfaltos-borracha foram produzidas misturas densas especificadas pelo *Asphalt Institute (AI)*, tipo IV, de acordo com o *The Asphalt Handbook Manual Series n° 4 (AI, 1989)*. A mistura de granulometria densa de referência utilizada foi a Faixa “C”, especificada pelo Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes – DNIT 031/2006–ES. A Figura 4 apresenta as curvas granulométricas utilizadas.

Tabela 1. Caracterização do CAP-50/70 e dos asfaltos-borracha

Ensaio	Norma	CAP-50/70	A	B
Penetração ¹ (0,1 mm)	ASTM D 5	51,5	42,0	26,0
PA ² (°C)	ASTM D 36	51,5	67,7	65,0

Viscosidade ³ (cp) 175°C	AASHTO TP 48	127	1644	2826
Resiliência (%)	ASTM D 5329	0	33	40
RTFOT 163 °C, 85 min	ASTM D2872			
Varição em massa (%)		0,3	0,3	0,3
Aumento do PA (°C)		4,3	2,9	8,5
Penetração ¹ (0,1 mm)		22,3	25,3	18,5
Penetração retida (%)		43,3	60,2	71,1
Resiliência (%)		0	36	46

¹100g, 5s, 25 °C; ²Método anel e bola; ³Viscosímetro Brookfield, spindle 27, 20 rpm.

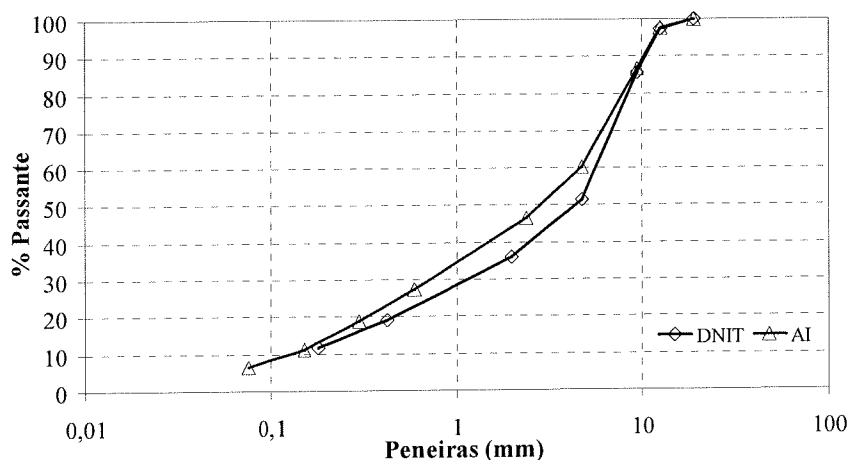


Figura 4. Curvas granulométricas das misturas ensaiadas

6. Ensaios de Desempenho

A determinação do teor ótimo de asfalto e dos parâmetros volumétricos das misturas foi realizada através da metodologia Marshall (ASTM D 1559). Após a produção, as misturas eram compactadas com um rolo liso em um molde metálico (750x490x80mm) formando placas de onde foram serrados os corpos-de-prova (prismáticos e cilíndricos) para os ensaios de desempenho, seguindo o prescrito da norma AASHTO PP3/94.

A determinação do módulo dinâmico e do ângulo de fase foi realizada através de ensaios de flexão em 4 pontos (ASTM 3497 1995), aplicando-se um carregamento sinusoidal correspondente a uma deformação máxima de tração na base do corpo-de-prova de 100 $\mu\text{m}/\text{m}$, com frequência de 10 Hz e na temperatura de 20 °C. Os resultados são apresentados na Tabela 2, que mostra também os resultados da formulação Marshall das três misturas estudadas.

Tabela 2. Características das misturas

Mistura	Teor ótimo (%)	Teor de vazios (%)	Módulo (MPa)	Ângulo de fase (°)
AI com betume A	7,0	5,0	4909	19,4
AI com betume B	8,0	5,0	4989	18,1
DNIT	5,5	4,0	6314	19,6

De acordo com a Tabela 2, a mistura de referência possui um módulo dinâmico superior em relação às misturas com asfalto-borracha que são mais flexíveis. A mistura com asfalto-borracha *terminal blend* (AIA) apresentou um módulo dinâmico menor que a mistura com asfalto-borracha *continuous blend* (AIB). As misturas com asfalto-borracha apresentaram teores ótimos superiores à mistura convencional devido à viscosidade.

Para determinação das curvas de fadiga foram realizados 3 ensaios para cada um dos níveis de deformações selecionados (200, 400 e 800 $\mu\text{m}/\text{m}$). A Figura 5 apresenta as curvas de fadiga das misturas estudadas, onde os pontos das curvas correspondem aos três níveis de deformações (e para as três repetições) de cada ensaio realizado. Como pode ser observado nesta figura, as misturas com asfalto-borracha, independente do tipo produção do asfalto-borracha, obtiveram um melhor desempenho em relação à mistura confeccionada com ligante convencional. Relativamente ao tipo de asfalto-borracha, a mistura confeccionada com *terminal blend* (AIA) apresentou um desempenho superior àquelas com *continuous blend* (AIB), (maior vida de fadiga para a mesma deformação).

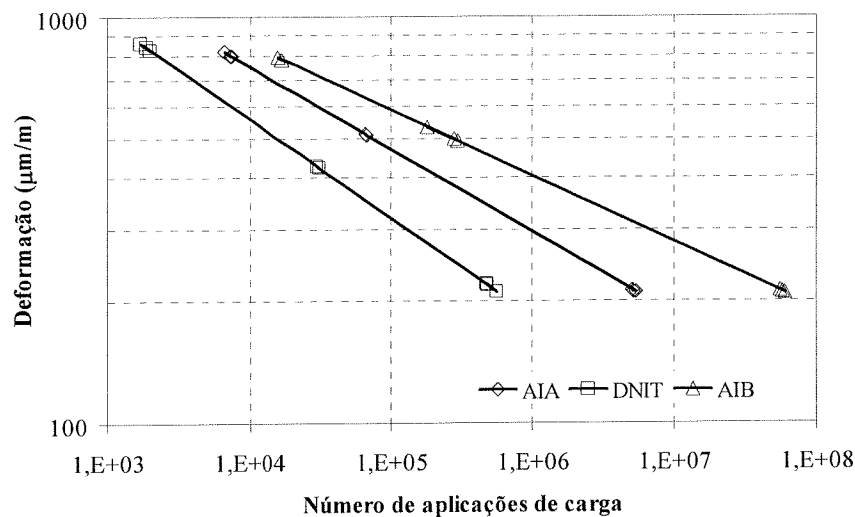


Figura 5. Curvas de fadiga das misturas

A avaliação da resistência à deformação permanente foi realizada através do ensaio RSST-CH em corpos-de-prova cilíndricos, aplicando-se repetidamente um esforço cisalhante de 70 kPa durante 0,6 segundos seguido de um período de repouso de 0,1 segundos, e a uma temperatura de 60°C. Com o ensaio RSST-CH, foi possível estabelecer uma lei de deformação permanente das misturas (Equação 2). A Figura 6 apresenta os resultados obtidos do número máximo de ciclos do eixo padrão de 80 kN (ESAL) em função do número de ciclos de carga aplicados no ensaio, no qual foi atingida a deformação de cisalhamento de 0,4545 que representa uma trilha de roda de 12,7 mm.

$$ESAL = 10^{\frac{4,36 + \log N_{mpss}}{1,24}} \quad (2)$$

onde: ESAL = número de ciclos do eixo padrão de 80 kN para atingir a trilha de roda de 12,7 mm;
 N_{mpss} = número de ciclos do ensaio RSST-CH para atingir a deformação máxima de 0,4545.

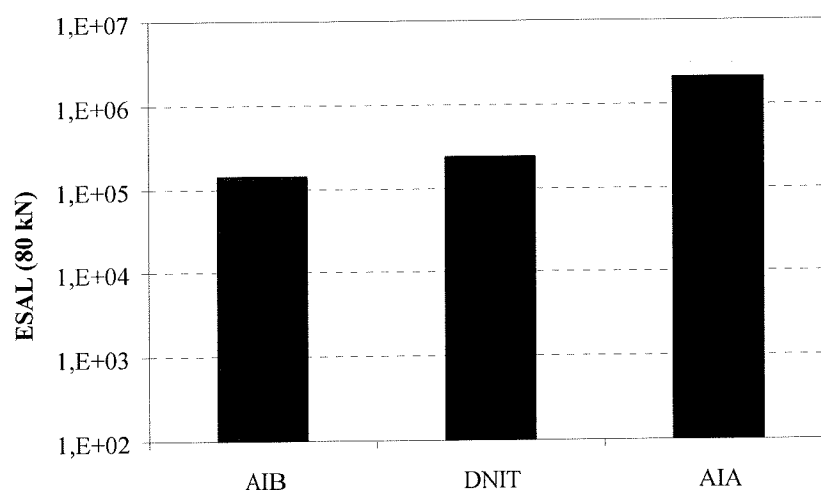


Figura 6. ESAL que origina uma trilha de roda de 12,7 mm nas misturas

Os resultados, apresentados na Figura 6, mostraram que a mistura *terminal blend* (AIA) obteve um desempenho superior de resistência à deformação permanente e que a deformação permanente da mistura *continuous blend* (AIB) foi equivalente à mistura de referência (DNIT).

7. Conclusões

Pela primeira vez foram obtidas curvas de fadiga para misturas asfálticas confeccionadas com asfalto-borracha genuinamente brasileiro, disponibilizando-se aos consultores e projetistas brasileiros modelos de comportamento que até então eram buscados na literatura especializada. Isto poderá representar um salto na qualidade dos projetos de pavimentação desenvolvido com a indicação destas misturas para as camadas de revestimento.

Os ensaios realizados em laboratório mostraram que as misturas com asfalto-borracha apresentam um desempenho superior ao da mistura convencional empregada no Brasil. Isto ocorre porque a borracha transfere ao ligante as suas propriedades como flexibilidade e resistência ao envelhecimento.

Em termos de resistência à fadiga a mistura com asfalto-borracha do tipo *continuous blend* (AIB) apresentou um desempenho superior às restantes enquanto que em termos de resistência à deformação permanente a mistura com asfalto-borracha do tipo *terminal blend* apresentou um desempenho superior às restantes.

Para os modelos, é importante a realização de experimentos de campo para o estabelecimento de fatores de calibração campo-laboratório.

O uso de misturas com asfalto-borracha nos revestimentos brasileiros, além de possibilitar o retardamento do aparecimento de degradações, contribui também com a preservação da natureza dando um destino nobre a um material de difícil manejo ambiental.

8. Agradecimentos

O primeiro autor agradece ao Programa ALβAN (Programa de Bolsas de Alto Nível da União Europeia para a América Latina), pela bolsa nº E04D040507BR durante os trabalhos em Portugal e ao CNPQ (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pela bolsa no Brasil.

Os autores agradecem à empresa GRECA Distribuidora de Asfaltos, fabricante do asfalto-borracha *terminal blend*, pelo fornecimento dos materiais asfálticos e da borracha de pneus.

Referências

- CAPITÃO, S. D. Caracterização mecânica de misturas betuminosas de alto módulo de deformabilidade. *Tese de Doutorado*. Universidade de Coimbra. Coimbra, Portugal, 2003.
- DI BENEDETTO, H., DE LA ROCHE, C. State of the art on stiffness modulus and fatigue of bituminous mixtures. *Rilem Report 17, Bituminous binders and mixes*. Brussels, Belgium, 1998.
- EISENMANN, J., HILMER, A. Influence of wheel load and inflation pressure on the rutting effect at asphalt pavements – Experiments and Theoretical Investigations, *Proceedings, Sixth International Conference on the Structural Design of Asphalt Pavements*, v. I, Ann Arbor, 392-403, 1987.
- MONISMITH, C. L.; EPPS, J. A.; KASIANCHUK, A.; McLEAN, D. B. Asphalt mixture behaviour on repeated flexure. *Report nº. TE 70-5*, University of California, Berkeley, USA, 1971.
- PAIS, J. C. Consideração da propagação de fendas no dimensionamento de reforços de pavimentos flexíveis. *Tese de Doutorado*, Universidade do Minho. Guimarães, Portugal, 1999.
- SHRP. SHRP – A – 403. Fatigue response of asphalt aggregate mixes. *Strategic Highway Research Program. National Research Council*. Washington, DC, USA, 1994.
- SOUSA, J. B.; SOLAIMANIAN, M.; WEISSMAN, S. L. Development and use of the repeated shear test (constant height): an optional Superpave mix design tool. SHRP-A-698. *Strategic Highway Research Program. National Research Council*. Washington, DC, USA, 1994.