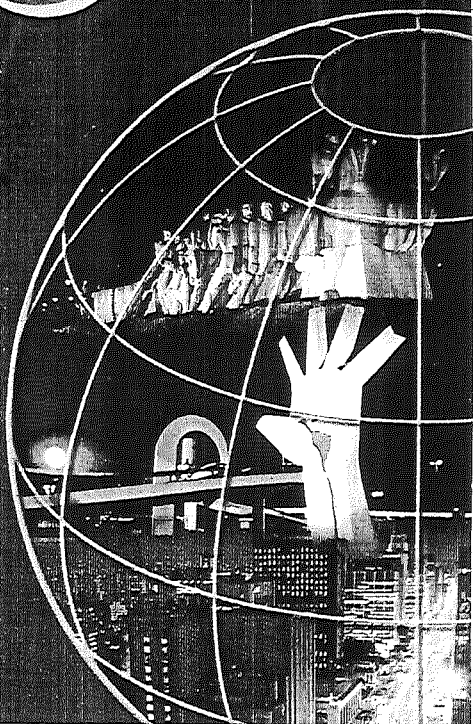




57^o

CONGRESSO ANUAL DA ABM INTERNACIONAL

22 a 25 de Julho de 2002
São Paulo - SP - Brasil



ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE METALURGIA E MATERIAIS - ABM

Website: www.abmbrasil.com.br

Rua Antonio Comparato, 218 - Campo Belo

CEP 04605-030 - São Paulo - SP - Brasil

Tel.: (55 11) 5536-4333 - Fax: (55 11) 5044-4273

Ficha Catalográfica/Cataloguing Card

Congresso Anual da Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais
(57.º: 2002: São Paulo, SP)

Anais do 57º Congresso Anual da Associação Brasileira de Metalurgia
e Materiais. [CDROM]. / Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais —
São Paulo : Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 2002.

Publicado até o ano de 1996 [51º] em forma impressa.
ISSN1516-392X

1. Metalurgia - Congressos 2. Materiais - Congressos I. Título

CDD 669.06

Produzido em julho de 2002
Printed July, 2002

VIABILIDADE TÉCNICA DA UTILIZAÇÃO DE BORRACHA DE PNEUS EM PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA

Sandra Margarido Bertollo¹
José Leomar Fernandes Júnior²
Liedi Légi Bariani Bernucci³
Edson de Moura⁴
Simonne da Costa Amaral⁵

Resumo

Este trabalho apresenta os resultados parciais de um estudo laboratorial que teve como objetivo avaliar o efeito produzido pela adição de borracha reciclada de pneumáticos sobre as propriedades de uma mistura asfáltica densa. Foram preparadas misturas asfálticas com duas granulometrias e dois teores de borracha, substituindo parte dos agregados pétreos em algumas frações da curva granulométrica ("processo seco"). Essas misturas foram comparadas com uma mistura de controle, sem borracha. Todas as misturas foram submetidas ao ensaio de trilha de roda em equipamento simulador de tráfego em laboratório. Os resultados mostram que a adição de partículas mais finas e em menores teores propicia uma melhoria no desempenho quanto à deformação permanente. A adição de borracha de pneus em obras de pavimentação asfáltica pode contribuir para a minimização dos problemas relacionados à disposição final dos pneus inservíveis e, ao mesmo tempo, melhorar algumas propriedades de engenharia das misturas asfálticas.

Palavras-chave: borracha de pneu, misturas asfálticas, deformação permanente

57º CONGRESSO ANUAL DA ABM - INTERNACIONAL
22 a 25 de julho de 2002, São Paulo – SP

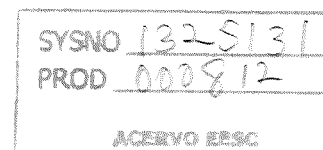
¹ Doutoranda - Departamento de Transportes da Escola de Engenharia de São Carlos, USP

² Prof. Dr. - Departamento de Transportes da Escola de Engenharia de São Carlos, USP

³ Profa. Dra. - Departamento de Transportes da Escola Politécnica da USP

⁴ Laboratório de Tecnologia de Pavimentação - Departamento de Transportes da Escola Politécnica da USP

⁵ Doutoranda - Departamento de Transportes da Escola Politécnica da USP



1- INTRODUÇÃO

A geração de pneus usados representa um problema mundial, estando diretamente relacionada à frota de veículos de cada país. Em 2000, o Brasil contava com uma frota de 35.727.635 veículos automotores nacionais e importados em circulação, 10,6% mais do que em 1998 (GEIPOT, 2002). Os pneus são objetos que ocupam grande volume e que precisam ser armazenados em condições apropriadas para evitar riscos de incêndio e proliferação de insetos e roedores. A disposição final em aterros sanitários se torna inviável, pois os pneus inteiros apresentam baixa compressibilidade e degradação muito lenta.

Considerando a dificuldade para a disposição das carcaças de pneus em aterros sanitários e a falta de uma ação governamental para fiscalização da destinação adequada desses resíduos, há uma tendência da população em abandonar os pneus em cursos de água, terrenos baldios e beiras de estradas. As pilhas de pneus representam risco constante de incêndios, que são de difícil controle, produzem grande quantidade de fumaça tóxica (dióxido de enxofre) e deixam como resíduos óleos que podem contaminar as águas subterrâneas (EPPS, 1994). Devido ao formato físico e à impermeabilidade da borracha, os pneus podem armazenar água de chuva, propiciando um ambiente ideal para a procriação de vetores de doenças como o mosquito *Aedes aegypti*, transmissor da dengue e da febre amarela urbana.

A ausência de dados sobre o destino de pneus inservíveis no Brasil não permite determinar com certeza o passivo ambiental. Algumas estimativas indicam que são gerados 35 milhões de carcaças de pneus anualmente e que existem mais de 100 milhões de pneus abandonados em todo o país. Alternativas devem ser encontradas no sentido de equacionar a questão desses resíduos no país. A Resolução nº 258 do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA, publicada no Diário Oficial de 02 de dezembro de 1999, determina que, a partir de 1º de janeiro de 2002, as empresas fabricantes e as importadoras de pneumáticos ficam obrigadas a coletar e dar destinação final, ambientalmente adequada, aos pneus inservíveis existentes no território nacional, na proporção relativa às quantidades fabricadas e/ou importadas.

Inicialmente, para cada quatro pneus novos fabricados no Brasil ou importados, os fabricantes e importadoras deverão reciclar/reutilizar um pneu inservível. A exigência em relação às quantidades de pneus que deverão ser reciclados/reutilizados aumenta a cada ano, até janeiro de 2005, quando, para cada quatro pneus novos fabricados no País ou importados, as empresas fabricantes e as importadoras deverão dar destinação final a cinco pneus inservíveis; para cada três pneus reformados importados, de qualquer tipo, as empresas importadoras deverão dar destinação final a quatro pneus inservíveis.

Nos Estados Unidos, país que mais produz pneus inservíveis no mundo (mais de um pneu por habitante por ano), existem leis que regulamentam a aquisição, armazenagem e processamento de pneus, impõem restrições para armazenagem em aterros sanitários e oferecem incentivos para o desenvolvimento de novas alternativas de uso, como por exemplo, a incorporação em misturas asfálticas (FHWA, 1993; EPA, 1999).

Existem dois métodos de incorporação dos pneus nas misturas asfálticas. No processo úmido são adicionadas partículas finas de borracha ao cimento asfáltico, produzindo um novo tipo de ligante denominado *asfalto-borracha*. No processo seco, objeto desse estudo, partículas de borracha substituem parte dos agregados pétreos na mistura. Após a adição do ligante, formam um produto denominado *concreto asfáltico modificado com adição de borracha* (Figura 1).

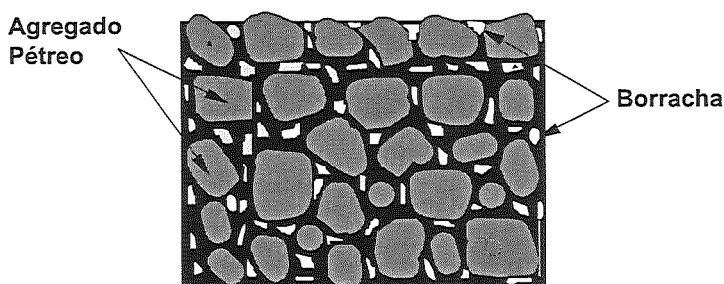


FIGURA 1 – Concreto asfáltico modificado com adição de borracha (processo seco).

Enquanto é indiscutível o benefício da reciclagem para esse tipo de resíduo, não existe consenso se a utilização de borracha triturada traz benefícios significativos às propriedades de engenharia, com a obtenção de um pavimento com melhor desempenho em longo prazo, superando as limitações dos pavimentos tradicionais.

Nesse contexto, o presente trabalho descreve um estudo a respeito da adição de borracha de pneu triturada substituindo parte dos agregados pétreos em uma mistura asfáltica convencional (faixa “C” do DNER). Procurou-se analisar a influência da quantidade e do tamanho das partículas de borracha nas propriedades mecânicas das misturas asfálticas, especificamente na capacidade das misturas em resistir à deformação permanente em trilha de roda.

Busca-se, dessa forma, contribuir para o equacionamento do grave problema ambiental que é a disposição de resíduos sólidos, pois a reutilização de pneus em larga escala no Brasil vai depender do conhecimento profundo dos aspectos econômicos e técnicos, relacionados ao meio ambiente e ao desempenho como material de construção.

2 - REDUÇÃO, REUTILIZAÇÃO E RECICLAGEM DE PNEUS USADOS

A Figura 2 ilustra as diversas formas de disposição final, reutilização e reciclagem dos pneus inservíveis gerados a cada ano, que serão discutidas a seguir.

Têm sido realizadas pesquisas, particularmente no exterior, buscando o desenvolvimento de novas tecnologias para reutilizar pneus velhos, seja na sua forma inteira, como borracha reciclada ou como combustível na geração de energia. Os pneus inservíveis, na sua forma inteira, podem ser aplicados em obras de contenções (SILVA et al., 2000), nas margens de rios para evitar desmoronamentos, como recifes artificiais (OLIVEIRA et al., 2000), na construção de quebra-mares, na construção de equipamentos para parques infantis, como barreira em acostamento de estradas, no controle de erosão etc.

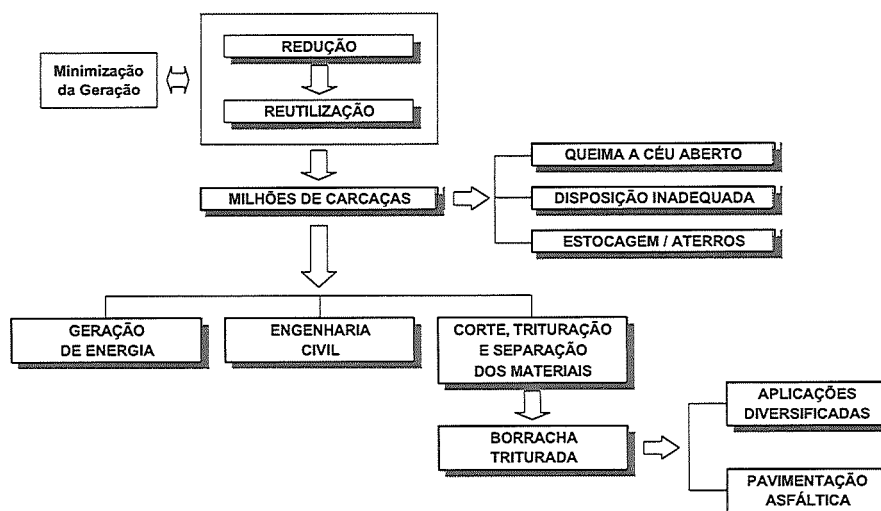


FIGURA 3 – Destino final dos pneus inservíveis.

Pneus inteiros também podem ser utilizados como combustível em fábricas de papel e celulose, em fornos de cimento e em usinas termelétricas. É importante salientar que a utilização de pneus na geração de energia requer estudos mais aprofundados quanto às emissões atmosféricas, além de estudos da viabilidade econômica desse processo. O desprendimento de material particulado e gases tóxicos é muito grande e a instalação de um sistema de controle de poluentes, com equipamentos e monitorização ao longo do tempo, pode tornar-se uma solução economicamente inviável (AMARI et al., 1999).

Os pneus são cortados e triturados, seguindo-se operações de separação dos componentes, o que permite a recuperação dos materiais. Obtém-se desse modo borracha pulverizada ou granulada que vai ter diversas aplicações: em misturas asfálticas, em revestimentos de quadras e pistas de esportes, fabricação de tapetes automotivos, adesivos etc. Nos Estados Unidos, quando são analisados os vários mercados para utilização de borracha de pneus inservíveis, dois têm apresentado potencial para consumir um número significativo de pneus: a utilização como combustível e a incorporação em misturas asfálticas (EPA, 1991). Os riscos ambientais que envolvem a utilização de pneus como combustível e os custos envolvidos na instalação de equipamentos para controle das emissões de poluentes, assim como a pressão de grupos ambientalistas tem contribuído para uma tendência na redução de utilização desse tipo de combustível nos países europeus e nos EUA. Essa situação favorece o desenvolvimento de novas pesquisas visando a utilização de borracha triturada em obras de pavimentação (CARLSON & ZHU, 1999).

Dentre os potenciais benefícios que a incorporação de borracha de pneus usados pode acarretar às misturas asfálticas, destacam-se: maior flexibilidade a baixas temperaturas, maior resistência à deformação permanente, maior resistência à fadiga, ao desgaste e ao envelhecimento. Esses revestimentos também podem apresentar uma significativa melhoria das condições de circulação (diminuição dos riscos de derrapagem em pista molhada) e a diminuição do ruído de contato entre o pneu e o pavimento, que constitui uma excelente resposta a outro problema ambiental, a poluição sonora. Entre as desvantagens estão o alto custo inicial, a falta de especificações de projeto e avaliação das misturas modificadas e a escassez de informações sobre o desempenho desses pavimentos com o tempo.

Atualmente, o modal rodoviário responde por cerca de 62% de toda a carga movimentada no País e 96% do transporte de passageiros. Entretanto, dos cerca de 1,7 milhões de quilômetros da malha viária existente no Brasil, menos de 10% (aproximadamente 160 mil quilômetros) são revestidos por pavimentos asfálticos (GEIPOT, 2001). Considerando que cada tonelada de mistura asfáltica pode incorporar a borracha de 1 a 4 pneus de veículos de passeio, a pavimentação de apenas 0,5% (cerca de 7.800 km) do total de quilômetros de rodovias não-pavimentados poderia consumir mais de 11 milhões de carcaças de pneus, cerca de 31% dos pneus descartados a cada ano.

A utilização de pneus triturados em obras de pavimentação no Brasil não deveria ser considerada como uma utopia, pois já é realidade na cidade de Santos, São Paulo, onde raspas de pneus (provenientes do processo de recauchutagem) são incorporadas nas misturas asfálticas utilizadas nas atividades de reabilitação e construção de pavimentos (Figura 3). Segundo informações da Prefeitura de Santos-SP, alguns trechos experimentais têm apresentado excelente desempenho enquanto outros apresentam problemas de desagregação, o que evidencia a necessidade de pesquisas sobre a utilização de borracha reciclada de pneus em obras de pavimentação asfáltica no Brasil.

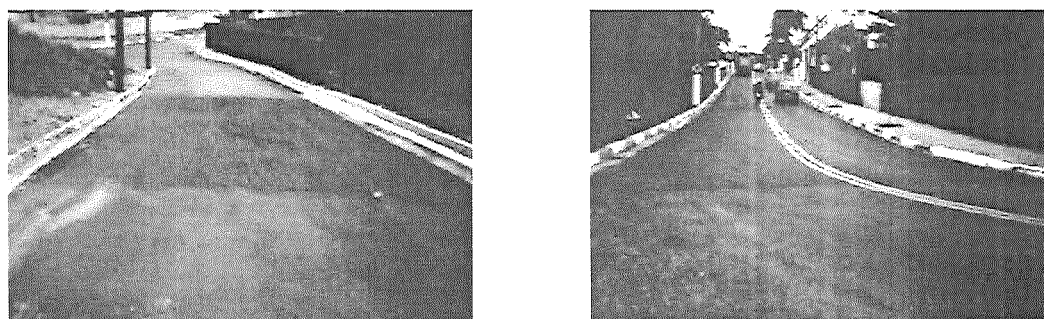


FIGURA 3 - Trechos de pavimentos modificados com adição de borracha de pneus na cidade de Santos-SP (BERTOLLO et al., 2000).

3 – COMPORTAMENTO MECÂNICO DAS MISTURAS ASFÁLTICAS

São dois os principais mecanismos de deterioração dos pavimentos: a deformação permanente, causada pela ação combinada de densificação e deformação por cisalhamento, e o trincamento por fadiga, decorrente das repetições de deformação horizontal de tração na parte inferior do revestimento. Neste trabalho dá-se ênfase ao estudo das misturas produzidas com borracha de pneus usados quanto à resistência ao acúmulo de deformação permanente nas trilhas de roda.

Nos últimos anos, a ocorrência prematura e/ou excessiva de deformação permanente nos pavimentos asfálticos tem sido motivo de grande preocupação entre técnicos e pesquisadores da área de pavimentação. As deformações, que aparecem sob a forma de depressões longitudinais nas trilhas de roda, são o resultado da acumulação de pequenos afundamentos que ocorrem toda vez que um carregamento é aplicado. Esse fenômeno tem se agravado devido, principalmente, ao aumento do número de veículos pesados e ao avanço tecnológico que possibilita a esses veículos rodarem com maior carga por eixo e maior pressão nos pneus (FERNANDES, JR., 1995).

O afundamento da trilha de roda pode ser o resultado da escolha de espessuras indevidas das várias camadas que compõem o pavimento, resultando em carregamentos incompatíveis com a capacidade de suporte do subleito. Também pode ser causado por deformações nas camadas betuminosas, causadas por misturas que possuem pequena resistência ao cisalhamento. Nessas misturas, o afundamento pode ser associado à suscetibilidade térmica dos ligantes ou ao esqueleto mineral resultante de agregados com baixos ângulos de atrito interno.

Quando se adiciona borracha em uma mistura asfáltica pelo processo seco, as partículas mais finas da borracha reagem com o ligante enquanto que as partículas maiores atuam como "agregados elásticos" no concreto asfáltico. A combinação de ligante modificado e aumento da elasticidade das misturas asfálticas tende a produzir pavimentos mais resistentes à fadiga e ao trincamento a baixas temperaturas. Existem evidências, também, de que a adição de borracha triturada, dentro de certos limites, aumenta a resistência à deformação permanente em relação às misturas convencionais (FHWA, 1993).

4 - METODOLOGIA

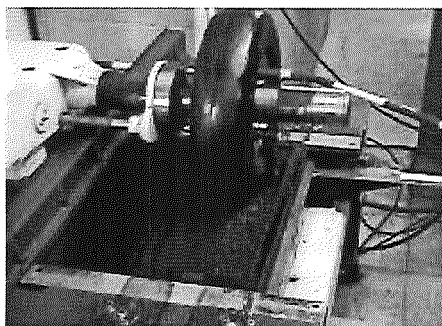
Atendendo solicitação da CETESB (Companhia de Engenharia Ambiental do Estado de São Paulo), foram realizados os ensaios de caracterização com o objetivo de enquadrar as amostras (somente borracha, mistura asfáltica convencional e misturas asfálticas utilizando borracha como agregado) em cada uma das classes de resíduos, de acordo com a NBR 10004 (Resíduos Sólidos – Classificação). Os ensaios foram realizados no Laboratório de Saneamento do Departamento de Hidráulica e Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos, USP, conforme procedimentos descritos na NBR 10005 - Lixiviação de Resíduos e NBR 10006 - Solubilização de Resíduos. Buscou-se verificar se a disposição de borracha triturada (para diminuição de volume) em aterros poderia causar algum dano ao meio ambiente e se a incorporação dessa borracha nas misturas asfálticas poderia resultar em um produto menos agressivo.

Para caracterizar as misturas asfálticas foram preparadas amostras com duas granulometrias de borracha, uma grossa (G), com diâmetros variando de 9,5 mm (3/8") até 0,60 mm (#30), e outra fina (F), com diâmetros variando de 1,18 mm (#16) até 0,15 mm (#100), substituindo parte dos agregados pétreos em algumas frações da curva granulométrica. Foram utilizadas quantidades de borracha equivalentes a 1 e 2% do peso total da mistura. Essas misturas foram comparadas a uma mistura convencional, sem borracha (mistura de controle). A borracha triturada foi fornecida pela BORCOL Indústria de Borracha Ltda, localizada no município de Sorocaba – SP. Foram utilizados agregados britados, de natureza basáltica, e o ligante asfáltico utilizado na moldagem dos corpos-de-prova foi o CAP-20.

A dosagem das misturas asfálticas foi feita pelo método Marshall de acordo com os padrões estabelecidos pela NBR 12891/93 da ABNT. Para seleção do teor ótimo de asfalto considerou-se um volume de vazios de 4% para a mistura de controle. As misturas contendo borracha foram moldadas utilizando a mesma quantidade de ligante da mistura de controle. Procurou-se analisar o efeito da quantidade e granulometria da borracha sobre o desempenho das misturas asfálticas.

Para a avaliação da capacidade das misturas em resistir às deformações permanentes foi utilizado um equipamento simulador de tráfego em laboratório, idealizado pelo *Laboratoire Central des Ponts et Chaussées* – LCPC. Os ensaios foram realizados no Laboratório de Tecnologia de Pavimentação, do Departamento de Engenharia de Transportes da Escola Politécnica da USP, em São Paulo. Em alguns países, principalmente Estados Unidos e França, os equipamentos simuladores de tráfego em laboratório estão sendo utilizados na dosagem das misturas asfálticas. A limitação da deformação permanente nas trilhas de roda tem sido utilizada como critério de aceitação das misturas asfálticas.

Foram moldadas placas de 180 mm de largura por 500 mm de comprimento e 50 mm de altura (Figura 4-a). O ensaio se realiza mediante a aplicação de uma carga através de uma roda dotada de pneus lisos. A pressão dos pneus e a carga dos eixos são controladas. A passagem das rodas sobre as placas se faz através de ciclos de ida e volta do pneu (cada ciclo tem a duração de 1 segundo). As medidas das deformações foram feitas em 15 pontos distintos da trilha de roda, sendo realizadas no decorrer do ensaio, após 100, 300, 1.000, 3.000, 10.000 e 30.000 ciclos. Os ensaios foram realizados em temperatura controlada de 60°C (Figura 4-b).



a) Compactação das placas



b) Simulador de tráfego

FIGURA 4 - Mesa compactadora e equipamento simulador de tráfego.

5 - RESULTADOS

Os resultados dos ensaios de solubilização realizados nas amostras de borracha apresentaram teores de metais (zinco e manganês) no extrato solubilizado superiores aos padrões estabelecidos pela NBR 10004, classificando esse resíduo como sendo Classe II (não inerte). Entretanto, nas amostras com borracha incorporada à mistura asfáltica nenhum constituinte solubilizado apresentou concentração superior ao limite máximo, evidenciando que a incorporação da borracha na mistura asfáltica foi eficiente na sua inertização.

A Figura 5 ilustra a variação da porcentagem de afundamento em trilha de roda com o número de ciclos para a mistura de controle e as misturas preparadas com 1 e 2% de borracha nas granulometrias G e F. A Tabela 1 apresenta o resumo dos resultados do ensaio de trilha de roda (média entre duas placas ensaiadas) para todas as misturas analisadas. O coeficiente angular é obtido através da equação de regressão de cada mistura e representa a taxa de deformação com o número de ciclos. Neste trabalho, considerou-se o limite máximo de afundamento na trilha de roda, após 30.000 ciclos, de 10%.

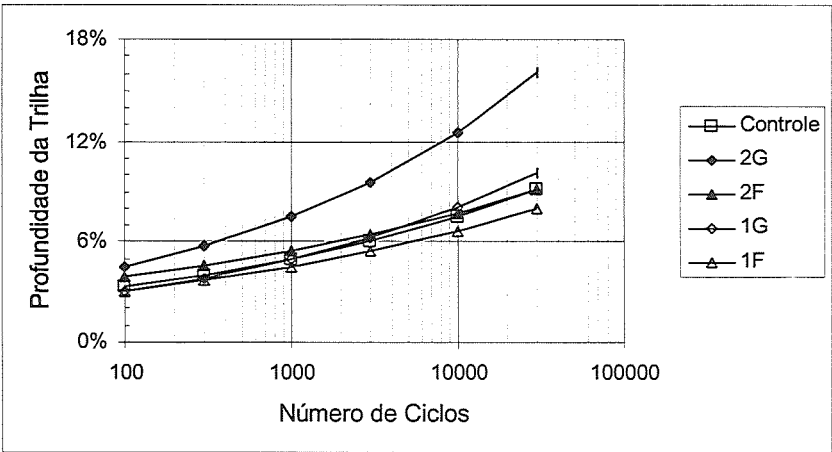


FIGURA 5 – Variação do percentual de afundamento com o número de ciclos.

Parâmetro	Misturas				
	2G	2F	1G	1F	Controle
Afundamento em trilha de roda (%):					
• 1.000 ciclos	7,5	5,5	4,9	4,5	5,0
• 10.000 ciclos	12,5	7,7	8,0	6,6	7,5
• 30.000 ciclos	16,0	9,1	10,1	8,0	9,1
Coefficiente angular	0,2234	0,1499	0,2129	0,1681	0,1789

TABELA 1 - Resultados obtidos no ensaio de afundamento em trilha de roda.

Pelos resultados apresentados na Figura 5 e Tabela 1, quanto à resistência ao acúmulo de deformação permanente nas trilhas de roda, a mistura que apresentou melhor desempenho foi a 1F (1% de borracha na granulometria fina), seguida pelas misturas 2F (2% de borracha na granulometria fina) e de controle. As misturas 1F e 2F apresentaram menores taxas de deformação (curvas menos inclinadas) quando comparada à mistura de controle, ou seja, essas misturas apresentam menor potencial de desenvolver deformação permanente nas trilhas de roda. A incorporação de até 1% borracha na granulometria grossa (mistura 1G) não compromete o desempenho das misturas, em termos de deformação permanente.

6 - CONCLUSÕES

A Resolução Nº 258 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) representa um importante avanço na legislação ambiental, mas não contempla as várias possibilidades de tratamento de resíduos. É fundamental subir na hierarquia de prioridades e reduzir a produção de resíduos, incentivando politicamente a reutilização e a recauchutagem dos pneus de forma eficiente, e não com os atuais processos artesanais nas chamadas “empresas de fundo de quintal”. A criação de incentivos para o aparecimento de uma indústria de recauchutagem seria uma boa oportunidade de efetivamente reduzir a produção de resíduos, baixar o consumo de matérias-primas e outros recursos não renováveis, conseguindo criar novas atividades econômicas bem mais compatíveis com o desenvolvimento sustentável do que a atual espiral da produção intensiva.

Os ensaios de solubilização e lixiviação mostraram que a trituração de pneus, com o objetivo de redução de volume antes de sua disposição em aterros sanitários, não é uma medida adequada e que a incorporação da borracha como parte dos agregados em misturas asfálticas foi eficiente na estabilização dos metais em excesso presentes na borracha, não apresentando riscos potenciais ao meio ambiente.

Os resultados dos ensaios de trilha de roda indicam que a diminuição das partículas de borracha proporciona uma melhora de desempenho em termos de resistência à deformação permanente. A incorporação de pequenos teores (1%) de borracha na granulometria fina proporcionou efeito benéfico, melhorando o desempenho em termos de resistência à deformação permanente quando comparado à mistura de controle, o que torna promissor a sua utilização como agregado.

Agradecimentos

Esta pesquisa contou com o apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), através da concessão de uma bolsa de doutorado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMARI, T.; THEMELIS, N. J.; WERNICK, I. K. (1999). Resource Recovery from Used Rubber Tires. *Resources Policy*. Volume 25 (3), p.179-188.
- BERTOLLO, S. A. M. et al. (2000). Pavimentação asfáltica: uma alternativa para a reutilização de pneus usados. *Revista Limpeza Pública*, n. 54. Associação Brasileira de Limpeza Pública - ABLP, p.23-30, Jan.
- CARLSON, D. D.; ZHU, H. (1999). *Asphalt-Rubber, An Anchor to Crumb Rubber Markets*. Third Joint UNCTAD/IRSG Workshop on Rubber and the Environment. International Rubber Forum. Veracruz, Mexico.
- EPPS, J. A. (1994). *NCHRP Synthesis of Highway Practice 108: Uses of Recycled Rubber Tires in Highways*. TRB, National Research Council, Washington, D.C.
- FERNANDES, JR., J.L. (1995). *Efeitos das Solicitações do Tráfego sobre o Desempenho de Pavimentos*. Tese de Doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos, USP. São Carlos – SP.
- EPA (1991). *Summary of Markets for Scrap Tires*. U.S. Environmental Protection Agency. EPA-530-SW-90-074B.
- EPA (1999). *State Scrap Tire Programs – A Quick Reference Guide: 1999 Update*. U. S. Environmental Protection Agency. EPA-530-B-99-002. Aug.
- FHWA (1993). *Crumb Rubber Modifier – Design Procedures and Construction Practices*. Workshop Notes. U. S. Department of Transportation. Federal Highway Administration. Publication Nº. FHWA-SA-93-011.
- GEIPOT (2001). *Rede Rodoviária: extensão total das rodovias pavimentadas e não-pavimentadas – 1995-99*. Anuário Estatístico dos Transportes. Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes. Ministério dos Transportes.
- GEIPOT (2002). *Frota Nacional de Veículos Automotores – Número de Veículos Existentes - 2000*. Anuário Estatístico dos Transportes. Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes. Ministério dos Transportes.
- OLIVEIRA, E. M. et al. (2000). Perspectivas de Soluções ao Problema dos Pneus Usados na Cidade do Natal. In: SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. Porto Seguro, Bahia.
- SILVA, R. N. M. et al. (2000). Proteção de Encosta com Pneus – Saneamento Ambiental no Coroadinho em São Luís. In: SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. Porto Seguro, Bahia.