

# Pneus

Pavimentação asfáltica: uma alternativa para a reutilização de pneus usados

Artigo publicado na Revista Limpeza Pública nº 54 de janeiro de 2000

Por Sandra Ap. Margarido Bertollo, José Leomar Fernandes Júnior, Romulo Barroso Villaverde e Delchi Migotto Filho

O que fazer com pneus velhos? De lenta degradação, constituem-se em um dos grandes problemas ambientais modernos. Contudo, começam a surgir interessantes alternativas de reutilização, entre as quais, a pavimentação asfáltica.

O pneu possui papel fundamental e insubstituível em nossa vida diária, tanto no transporte de passageiros quanto no de cargas. Entretanto, quando tornam-se inservíveis, acarretam uma série de problemas: são objetos perceptíveis e incomodamente volumosos, que precisam ser armazenados em condições apropriadas para evitar riscos de incêndio e proliferação de mosquitos e roedores. A disposição em aterros torna-se inviável, já que apresentam baixa compressibilidade e degradação muito lenta. Além disso, quando enterrados, tendem a subir e sair para a superfície (EPA, 1991; JARDIM, 1995).

Considerando a dificuldade para a disposição das carcaças de pneus em aterros sanitários e a falta de uma legislação para controle da destinação adequada desses resíduos, tem havido uma tendência da população em abandonar os pneus em cursos de água, terrenos baldios e beiras de estradas, que agravam ainda mais o problema. Todo pneu, em algum momento, se transformará em um resíduo potencialmente danoso à saúde pública e ao meio ambiente. Para acabar com isso, uma solução adequada à sua destinação final deve ser adotada. Pesquisas vêm sendo realizadas, particularmente no exterior, em busca do desenvolvimento de novas tecnologias de reutilização, seja na forma inteira, como borracha reciclada, ou como combustível, na geração de energia.

Na sua forma inteira, os pneus podem ser aplicados em obras de contenções nas margens de rios para evitar desmoronamentos; como recifes artificiais, na construção de quebra-mares; na construção de equipamentos para parques infantis; no controle de erosão etc. Inteiros podem, ainda, ser utilizados como combustível em fábricas de celulose e papel, em fornos de cimento e em usinas termelétricas (EPA, 1991).

O pneu apresenta uma estrutura complexa, formada por diversos materiais como: borracha, aço e tecido (náilon ou poliéster), que visam conferir as características necessárias ao seu desempenho e segurança. Do ponto de vista ambiental, a reciclagem dessas matérias-primas seria a solução mais satisfatória, com a condição de se poder recuperar materiais de qualidade a um custo energético mínimo. Mas o pneu, no sentido exato do termo, não é verdadeiramente reciclável. Isso porque o seu caráter compósito, bem como a irreversibilidade da reação de vulcanização, tornam impossível reobter as matérias-primas iniciais. No entanto, é possível recuperar e reutilizar parte deles. Os pneus são cortados e triturados, em várias operações de separação dos diferentes materiais, que permitem a recuperação dos materiais, obtendo-se borracha pulverizada ou granulada, que irá ter diversas aplicações, como: em misturas asfálticas, em revestimentos de quadras e pistas de esportes, na fabricação de tapetes automotivos, adesivos etc.

É importante observar que, quando analisados os vários mercados para utilização de borracha de pneus inservíveis, somente dois apresentam potencial para utilização de número significativo de pneus: o energético e de misturas asfálticas. Segundo HEITZMAN (1992) e ZANZOTTO & KENNEPOHL (1996), cada tonelada de mistura asfáltica pode incorporar a borracha de 2 a 6 pneus.

Nas misturas asfálticas, existem dois processos - úmido e seco - de incorporação dos pneus. No processo úmido (wet process) são adicionadas partículas finas de borracha ao cimento asfáltico, produzindo um novo tipo de ligante denominado "asfalto-borracha". Já no processo seco (dry process), partículas maiores de borracha substituem parte dos agregados pétreos. Após a adição do ligante, formam um produto denominado "concreto asfáltico modificado com adição de borracha". Para contribuir nesse problema, o Departamento de Transportes da Escola de Engenharia de São Carlos - USP vem realizando pesquisa e estudo de avaliação do processo seco de incorporação de borracha de pneus nas misturas asfálticas.

## Volume dos Pneus

Um dos objetivos da pesquisa da Escola de Engenharia de São Carlos é levantar os volumes de pneus descartados e estocados em aterros sanitários de algumas cidades do Estado de São Paulo. Para tanto, foram realizados contatos com prefeituras municipais, feitas visitas técnicas e elaborado questionário, com os seguintes itens: informações gerais sobre o aterro, volume de resíduos sólidos gerados e coleta/disposição dos pneus. A tabela 1 apresenta as informações sobre coleta/disposição de pneus obtidas em 12 cidades do Estado de São Paulo: Araçatuba, Bauru, Botucatu, Campinas, Limeira, Piracicaba, Presidente Prudente, Ribeirão Preto, Santos, São José do Rio Preto, São Paulo e Sorocaba.

Com base nos números obtidos, tem-se uma geração anual média per capita para o Estado de São Paulo igual a 0,15,

ou seja, aproximadamente seis milhões de pneus são descartados anualmente. Comparando-se com outros países, pode-se suspeitar que esse número esteja subestimado, provavelmente em razão dos vários artifícios utilizados para a disposição clandestina e da falta de recursos para a coibição de tal prática. Na Europa, por exemplo, dois milhões de toneladas de pneus chegam ao fim de sua vida a cada ano. No Canadá, aproximadamente, 30 milhões de pneus são descartados anualmente (ZANZOTTO & KENNEPOHL, 1996).

Estados Unidos - Nenhum país produz mais pneus inservíveis que os Estados Unidos. Estima-se que sejam dispostos 285 milhões de pneus por ano, algo em torno de 4,7 milhões de toneladas, o que representa mais de um pneu, por habitante, por ano. Desse montante, 33 milhões de pneus são recauchutados, 22 milhões são reutilizados (revendidos) e os outros 42 milhões são destinados a diferentes aplicações. Os 188 milhões de pneus restantes são enviados para aterros ou dispostos ilegalmente (HEITZMAN, 1992).

Nesse país, os riscos ambientais vinculados à presença de pneus inservíveis motivaram a criação de legislação específica em nível federal e estadual. No início de 1991, 44 estados decretaram leis para controlar a disposição dos pneus (HEITZMAN, 1992). As leis estaduais regulamentam a aquisição, armazenagem e processamento dos pneus, impõem restrições para armazenagem em aterros sanitários e oferecem incentivos para o desenvolvimento de novas alternativas de uso.

Muitos estados americanos proíbem a disposição de pneus inteiros em aterros, só recebendo os mesmos triturados e, ainda assim, cobrando taxas tão elevadas que tornam essa alternativa economicamente proibitiva. Nos estados onde é permitido estocar pneus sem enterrá-los, existem normas que regulamentam o tamanho, a construção de obras de prevenção a incêndios, coberturas e tapumes para que haja o controle adequado desses depósitos.

No Brasil - Ainda não existe nenhuma monitorização do Governo, nem do setor privado, sobre as formas de disposição final dos pneus usados, assim como não há levantamento dos depósitos de pneus abandonados em todo o país. Algumas estimativas indicam que são gerados 35 milhões de carcaças de pneus anualmente (FIORI, 1998) e que existem mais de 100 milhões de pneus abandonados em todo o País (SATO, 1999).

Na maioria das cidades analisadas, o poder público municipal proíbe a entrada dos pneus nos aterros, eximindo-se da responsabilidade de coletar e armazenar adequadamente esses resíduos e contribuindo para a disposição ilegal em terrenos baldios, rios etc. Esse fato também evidencia o descaso das autoridades em relação à saúde pública, pois os pneus proporcionam um ambiente adequado para a criação do mosquito transmissor da dengue e de outros vetores de doenças.

Das cidades contatadas, apenas Piracicaba e Sorocaba possuem controle efetivo do volume de pneus coletados e estocados. Particularmente, as cidades de Piracicaba e Limeira estão empenhadas em encontrar alternativas de utilização para os pneus estocados: controle de erosão em Piracicaba e drenagem de líquidos percolados de aterros sanitários em Limeira. Com relação à reutilização de pneus usados em obras de pavimentação asfáltica, conforme discutido a seguir, apenas a cidade de Santos está construindo ou reabilitando pavimentos utilizando concreto asfáltico com incorporação de pneus usados triturados.

#### Utilização da Borracha em Pavimentação Asfáltica

No Brasil foi aprovada, em 26 de agosto de 1999, resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente - Conama, que institui a responsabilidade, ao produtor e importador, pelo ciclo total da mercadoria. A partir de janeiro de 2002, fabricantes e importadoras de pneus serão obrigados a coletar e dar destinação final de forma ambientalmente correta para os produtos que colocam no mercado. Pela proposta, o Ibama ficará responsável pela aplicação da resolução, podendo punir os infratores com base na Lei de Crimes Ambientais. Inicialmente, para cada quatro pneus novos fabricados no Brasil ou importados, os fabricantes e importadoras deverão reciclar/reutilizar um pneu inservível.

Muitos países têm desenvolvido legislação para direcionar seus departamentos de estradas de rodagem a investigar a possibilidade de utilização de materiais recicláveis em obras de pavimentação. O governo americano, em especial, têm incentivado a incorporação de borracha de pneus nas misturas asfálticas. Na maioria dos estados americanos, por exemplo, existem leis ou regulamentações que afetam a disposição e a reutilização de pneus.

Incentivos Fiscais - A seção 1038 da Lei sobre a Eficiência do Transporte Intermodal de Superfície de 1991 (Intermodal Surface Transportation Efficiency Act - ISTEA, 1991), que trata do "uso de material reciclado em pavimentação visando a proteção ambiental", estabelece a utilização de um percentual mínimo de borracha reciclada nas misturas asfálticas (em relação ao total produzido), tendo aumentado de 5% em 1994 até 20% em 1997, e assim se mantido nos anos seguintes. A lei garante incentivos fiscais aos Estados que utilizam borracha de pneus nas misturas asfálticas e prevê punições aos Estados que não a obedecerem.

A adição de borracha triturada em misturas betuminosas - além de minimizar os problemas de disposição de pneus em aterros sanitários e, principalmente, de queima ou disposição em locais inadequados - pode também melhorar o desempenho dos pavimentos, retardando o aparecimento de trincas, selando as já existentes e aumentando a impermeabilização proporcionada pelos revestimentos asfálticos.

Como as pesquisas são muito recentes, ainda não existem resultados conclusivos sobre o desempenho dos pavimentos que contêm borracha de pneu triturada. A tecnologia de ensaios, projetos e avaliação de ligantes e misturas modificadas com adição de borracha ainda não é totalmente compreendida. Considerações de projetos tais como: tipo e teor de asfalto, tipo de borracha, granulometria da borracha, temperaturas de mistura e compactação, entre outros, estão relativamente indefinidos. Portanto, existe a necessidade de se estabelecer procedimentos padronizados para o projeto e de avaliação de misturas modificadas com adição de borracha reciclada (TROY et al., 1996).

Apoio da Administração Municipal - A Prodesan -Progresso e Desenvolvimento de Santos, empresa de economia mista da Prefeitura Municipal da cidade litorânea de Santos - SP, responsável pela construção e manutenção dos pavimentos asfálticos da cidade, tem recebido apoio da administração municipal para desenvolver estudos visando mitigar o problema da disposição dos pneus no aterro sanitário. Vários trechos de pavimentos construídos em Santos indicam a viabilidade de se utilizar borracha triturada substituindo parte dos agregados pétreos nas misturas asfálticas. Nos trechos construídos, foram incorporadas raspas de borracha obtidas em empresas de recauchutagem. O consumo girou em torno de 30kg de borracha por tonelada de mistura. A figura 1 apresenta dois trechos de pavimentos modificados com adição de borracha de pneus.

No âmbito laboratorial, estão sendo analisados os fatores granulometria dos agregados pétreos, granulometria da borracha (grossa, fina e contínua), teor de borracha (2, 4 e 6% em peso de agregado pétreo), tempo de cura e temperaturas de mistura e compactação. As "respostas" serão obtidas dos ensaios utilizados para avaliação dos fatores intervenientes no desempenho das misturas asfálticas: método Marshall para determinação de estabilidade e fluência, ensaio de compressão diametral dinâmico para determinação do módulo de resiliência e ensaio de fluência por compressão uniaxial ("creep test") estático e dinâmico para avaliação das misturas em termos de resistência à deformação permanente.

Como existem limitações inerentes aos ensaios de laboratório, a avaliação do desempenho das misturas asfálticas com borracha de pneus também se dará através de pistas experimentais submetidas às condições de tráfego e climáticas reais. Através de uma parceria entre a Prodesan e o Departamento de Transportes da Escola de Engenharia de São Carlos - USP serão construídos vários trechos experimentais em Santos, onde serão considerados diferentes espessuras de revestimento asfáltico, teores de borracha e granulometrias de borracha. Busca-se, dessa forma, contribuir para a solução 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.

#### Considerações Finais

Na medida em que quase todos os municípios apresentam problemas quanto à disposição final dos resíduos sólidos domiciliares, uma vez que poucos têm aterro sanitário e, dentre esses, muitos já estão com sua capacidade perto do limite, investimentos devem ser aplicados em novas tecnologias, que possam contribuir para a redução do volume e para sua reutilização ou reciclagem. A disposição final dos pneus contribui para agravar ainda mais a situação, pois os pneus apresentam baixa compressibilidade, representam risco constante de incêndios e servem como local de procriação de mosquitos, roedores e outros vetores de doenças.

A falta de recursos para o controle da disposição final e para o estudo de alternativas econômica e ambientalmente viáveis para a reutilização de pneus usados é diretamente proporcional à falta de interesse político. Em outras palavras, o problema está nos critérios para priorização da utilização dos recursos existentes. A situação atual no Estado de São Paulo, conforme resumido neste trabalho, está longe do ideal, mas começam a surgir evidências de que no futuro próximo prefeituras municipais, fabricantes de pneus, órgãos reguladores e fiscalizadores, universidades e institutos de pesquisas poderão trabalhar em parceria para solucionar o gravíssimo problema que é a disposição final de pneus usados.

RESOLUÇÃO CONAMA N. 258, DE 26.08.99 - Determina que 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 definida nesta Resolução relativamente às quantidades fabricadas e/ou importadas. As empresas que realizam processos de reforma ou de destinação final ambientalmente adequada de pneumáticos ficam dispensadas de atender ao disposto a esta exigência, exclusivamente no que se refere a utilização dos quantitativos de pneumáticos coletados no território nacional.

Os prazos e quantidades para coleta e destinação final, de forma ambientalmente adequada, dos pneumáticos inservíveis são os seguintes:

I - a partir de 1º de janeiro de 2002: para cada quatro pneus novos fabricados no País ou pneus importados, inclusive aqueles que acompanham os veículos importados, as empresas fabricantes e as importadoras deverão dar destinação final a um pneu inservível; II - a partir de 1º de janeiro de 2003: para cada dois pneus novos fabricados no País ou pneus importados, inclusive aqueles que acompanham os veículos importados, as empresas fabricantes e as importadoras deverão dar destinação final a um pneu inservível; III - a partir de 1º de janeiro de 2004: a) para cada um pneu novo fabricado no País ou pneu importado, inclusive aqueles que acompanham os veículos importados, as

empresas fabricantes e as importadoras deverão dar destinação final a um pneu inservível; b) para cada quatro pneus reformados importados, de qualquer tipo, as empresas importadoras deverão dar destinação final a cinco pneus inservíveis; IV - a partir de 1º de janeiro de 2005: a) para cada quatro pneus novos fabricados no País ou pneus novos importados, inclusive aqueles que acompanham os veículos importados, as empresas fabricantes e as importadoras deverão dar destinação final a cinco pneus inservíveis; b) para cada três pneus reformados importados, de qualquer tipo, as empresas importadoras deverão dar destinação final a quatro pneus inservíveis.

A partir de 2.12.99, fica proibida a destinação final inadequada de pneumáticos inservíveis, tais como a disposição em aterros sanitários, mar, rios, lagos ou riachos, terrenos baldios ou alagadiços, e queima a céu aberto. Os fabricantes e os importadores poderão criar centrais de recepção de pneus inservíveis, a serem localizadas e instaladas de acordo com as normas ambientais e demais normas vigentes, para armazenamento temporário e posterior destinação final ambientalmente segura e adequada. Os distribuidores, os revendedores e os consumidores finais de pneus, em articulação com os fabricantes, importadores e Poder Público, deverão colaborar na adoção de procedimentos, visando implementar a coleta dos pneus inservíveis existentes no País.

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.

Sandra Ap. Margarido Bertollo é Engenheira Civil e Doutoranda em Engenharia de Transportes na Escola de Engenharia de São Carlos - USP.

José Leomar Fernandes Júnior é Professor Doutor do Departamento de Transportes da Escola de Engenharia de São Carlos - USP.

Romulo Barroso Villaverde é Engenheiro Civil da Prodesan - Progresso e Desenvolvimento de Santos .

Delchi Migotto Filho é Diretor Presidente da Prodesan .

Endereço para contato:

Departamento de Transportes da Escola de  
Engenharia de São Carlos - USP

Av. Dr. Carlos Botelho, 1465 - 13560-250 - S&Isaqu;o Carlos - SP

Fones: (0xx16) 272-4368 / 9702-1674

E-mail: samberto@sc.usp.br