

Monografia

ASFALTO BORRACHA

Autor: Luiz Felipe Carneiro Leão

Orientador: Prof. Adriana Guerra Gumieri

Maio/2011

LUIZ FELIPE CARNEIRO LEÃO

"ASFALTO BORRACHA"

Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Construção Civil
da Escola de Engenharia da UFMG

Ênfase: Tecnologia e produtividade das construções

Orientador: Prof. Adriana Guerra Gumieri

Belo Horizonte

Escola de Engenharia da UFMG

2011

A minha família pelo apoio, carinho e dedicação.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus e a todas as pessoas que contribuíram para a realização desse trabalho. Agradeço a minha família, agradeço também aos meus colegas de trabalho que souberam entender e me apoiar nos momentos em que tive que me ausentar para poder estudar. Agradeço aos meus pais pela formação e educação que me deram para poder conquistar mais este objetivo na minha vida. Agradeço aos meus colegas e professores da UFMG pela excelente convivência nesses 18 meses de curso. Agradeço a Arcelor Mittal pela oportunidade de fazer este excelente curso. E por fim gostaria de agradecer ao Dr. Salomão Pinto (falecido em 03/2011) engenheiro do IME (Instituto Militar de Engenharia) e do DNIT (Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte) e ao Dr. Angelo Monteiro do DER-RJ (Departamento de Estrada de Rodagem do Estado de Rio de Janeiro) que me deram a idéia e o incentivo necessário para desenvolver este tema sobre Asfalto Borracha.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Borracha asfalto.....	17
Figura 2 – Aplicação de Asfalto Borracha sobre Asfalto trincado.	19
Figura 3 - Pneu automotivo.....	23
Figura 4– Reciclagem de pneus	26
Figura 5 – Composição de Pneus Radiais para Automóveis	29
Figura 6 – Corte de um pneu radial de automóvel	29
Figura 7 – Permeabilidade do Asfalto Borracha.	30
Figura 8 – Demonstração da permeabilidade do Asfalto Borracha.....	31
Figura 9 – Classificação granulométrica dos agregados.....	34
Figura 10 – Produção de Asfalto Borracha.....	34
Figura 11 – Produção de Asfalto Borracha.....	35
Figura 12 – Carregamento de Asfalto Borracha.....	35
Figura 13 – Carregamento de Asfalto Borracha.....	36
Figura 14 – Processo de mistura estocável do asfalto-borracha.....	36
Figura 15 – Comparação de consistência entre asfalto-borracha e asfalto convencional	38
Figura 16 – Pavimento asfaltico	41
Figura 17 – Aplicação de Asfalto Borracha.	44
Figura 18 – Aplicação de Asfalto Borracha.	44

Figura 19 – Borracha como asfalto	47
Figura 20 – Descarte de pneus inservíveis.....	52
Figura 21 - Borracha de Pneu moído.	56
Figura 22 - Borracha de Pneu moído.	57
Figura 23 – Rodovia RJ 122 Obra de restauração executada com Asfalto Borracha.	71
Figura 24 – Asfalto borracha.....	72
Figura 25 – Rodovia RJ 122 Asfalto Borracha - obra concluída.	73
Figura 26 – Rodovia RJ 122 Asfalto Borracha - obra concluída.	74
Figura 27 – Rodovia RJ 122 executada com Asfalto borracha	75
Figura 28 – Dr Salomão Pinto, Dr. Luiz Felipe, Dr. Hélio Farah.	76

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Análises térmicas de pneus: Pirelli (a), Michelin (b), Goodyear (c) e de marcas desconhecidas (d, e, f).....	62
Gráfico 2 - Infravermelho do CAP da Fazenda Alegre.....	64
Gráfico 3 - Gráfico da viscosidade aparente em função da taxa de cisalhamento para o CAP. Temperaturas: 135 °C (■); 150 °C (□); 175 °C (●); 190 °C (○).....	65
Gráfico 4 - Resultados dos ensaios de penetração (a), ponto de amolecimento (b) e resiliência (c) para o CAP e CAP/BPM.	66
Gráfico 5 - Gráficos da viscosidade em função da taxa de cisalhamento para CAP/BPM (2 a 22% de BPM) Temperaturas: 135 °C (■); 150 °C (□); 175 °C (●); 190 °C (○).....	66
Gráfico 6 - Espectros de infravermelho. CAP (a), CAP oxidado (b), CAP/BPM com 12% (c): CAP/BPM oxidado: com 2% (d), 5% (e), 8% (f) e 12% (g) de BPM.	67

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Guia de seleção de métodos de reciclagem	54
Tabela 2 – Perfil granulométrico e comportamento térmico da BPM	63
Tabela 3 - Lista de atribuições para os estiramentos presentes no espectro de IV do asfalto	64

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	10
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
1.1 A UTILIZAÇÃO DA BORRACHA.....	20
1.2 OS PNEUS.....	22
1.3 OS RESÍDUOS	24
1.4 RECICLADO	26
1.5 UTILIZAÇÃO EM OBRAS PÚBLICAS	29
1.6 NOVOS PRODUTOS PLÁSTICOS.....	32
1.7 BORRACHA COMO ASFALTO.....	33
1.7.1 MISTURA ASFALTO-BORRACHA (PROCESSO ÚMIDO).....	38
1.7.2 LIGANTE ASFÁLTICO SISTEMA BORRACHA / (ARIZONA PROCESSO) ...	43
1.8 ASFALTO ECOLÓGICO	45
1.8.1 PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA.....	47
MÉTODOS DE RECICLAGEM	51
1.9 OUTRAS APLICAÇÕES DA BORRACHA DE PNEU.....	51
1.10 BORRACHA DE PNEU MOIDO.....	56
1.10.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS	62
1.10.2 CARACTERIZAÇÃO DO ASFALTO MODIFICADO	65
1.11 RIO DE JANEIRO VAI UTILIZAR ASFALTO BORRACHA	70
CONCLUSÃO	77
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS - VER NBR 6023.....	80

RESUMO

Os pneus são materiais constituídos por múltiplos componentes entre os quais se encontram: negro de carbono, óxido de zinco, aço, material têxtil, enxofre, elastômeros e em maior proporção borracha natural ou sintética. Tais componentes conferem aos pneus propriedades de resistência em condições extremas, o que os converte em materiais praticamente indestrutíveis dificultando seu descarte, muito embora após seu uso não sejam resíduos perigosos, são considerados um importante problema ambiental. Uma forma de aproveitar os pneus eliminados que veio tomando importância é a incorporação de pó de borracha aos asfaltos para sua aplicação nas áreas de pavimentação e impermeabilização. Esta alternativa permite melhorar as propriedades reológicas dos ligantes, aumentando seu intervalo de plasticidade e contribuindo com a disposição favorável do passivo ambiental que representam os pneus fora de uso. O principal objetivo ao modificar asfaltos é conseguir propriedades reológicas não obtidas nos asfaltos produzidos com técnicas convencionais de refino. Uma forma de modificá-los é mediante a incorporação de polímeros, entre eles as borrachas. Este trabalho faz uma análise bibliográfica sobre as diferentes formas de utilização do pó de pneu inservível como matéria prima para realizar asfalto borracha, e também ilustrar na prática, com fotos, o processo de confecção e aplicação do Asfalto Borracha.

Palavras-chave: Asfalto. Borracha. Pavimentação.

INTRODUÇÃO

A massiva fabricação de pneus e as dificuldades para fazê-los desaparecer uma vez usados, constituem um dos mais graves problemas do meio ambiente dos últimos anos em todo mundo. Um pneu precisa de grandes quantidades de energia para ser fabricado, cerca de meio barril de petróleo cru para fabricar um pneu de caminhão (CAWELL, 2005) e também provoca, se não é convenientemente reciclado, contaminação ambiental ao fazer parte, geralmente, de depósitos sem controle.

Existem métodos para conseguir materiais reciclados coerentes destes produtos, mas faltam políticas que favoreçam o recolhimento e a implantação de indústrias dedicadas à tarefa de recuperar ou eliminar, de forma limpa, os componentes perigosos das borrachas dos veículos e equipamentos.

A partir desse ponto de vista, para a sociedade propor um melhor gerenciamento possível destes resíduos, tendo em conta o princípio de hierarquia estabelecido na Lei Nº 12.305, de 2 de agosto de 2010 (Brasil, 2010) que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências, obrigando a prevenir o descarte na medida do possível, alongando a vida útil dos pneus, a reutilizar e a reciclar, em sua maior parte, estes resíduos. Isso significa, portanto, dar uma clara prioridade à reutilização e à reciclagem em todas suas variantes e nos casos em que isto não seja possível, recorrer à valorização energética dos resíduos.

Para eliminar estes resíduos usa-se com freqüência a queima direta que provoca graves problemas ao meio ambiente, já que produz emissões de gases que contêm partículas nocivas para o meio, embora não seja menos problemático o armazenamento, já que provocam problemas de estabilidade pela degradação química parcial que estes pneus descartados sofrem e produzem problemas de segurança nos depósitos.

As montanhas de pneus formam arrecifes onde a proliferação de roedores, insetos e outros animais daninhos constituem um problema acrescentado. A reprodução de certos mosquitos, que transmitem por picada febres e dengue chega a ser 4.000 vezes maior na água parada de um pneu do que na natureza (BRASIL, 2011).

Na atualidade podem ser utilizados diversos métodos para a recuperação de pneus e a destruição de seus componentes perigosos. O sistema de tratamento pode converter os pneus em energia elétrica.

Encontrar soluções úteis para os pneus eliminados é uma contínua preocupação para os grupos que lutam pela preservação do meio ambiente. Nos Estados Unidos atiram-se 250 milhões de pneus ao ano e 25 milhões no Reino Unido (FOSS, 2011).

Os índices de reciclagem estão aumentando, mas não o suficiente para evitar que as rodas apareçam abandonadas em qualquer lugar ou depositadas em terrenos baldios.

Houve um tempo em que floresceu o mercado dos pneus recauchutados em países industrializados. Em mudança, esta prática perdeu-se desde que os fabricantes elaboram pneus de longa duração, não adequados para ser recauchutados. No entanto, continua sendo a melhor solução com respeito ao meio ambiente, poupando-se matéria prima (petróleo, aço e fibras sintéticas), e reduzindo-se o número de pneus que acabam no depósito.

Atualmente, nos Estados Unidos, cerca de 20% das rodas dos veículos são recauchutadas, enquanto na Holanda a metade das sobras de pneus são utilizados para recauchutar e o restante se trata com novas tecnologias (FOSS, 2011).

Nos depósitos, muitos dos trabalhadores recusam transportar pneus. As rodas absorvem os gases emitidos pela decomposição dos resíduos, o que origina um ambiente instável e potencialmente danoso. Existem companhias de recolha de resíduos que armazenam os pneus dentro de represas cheias de água, o que constitui uma solução menos prejudicial para o meio ambiente (FOSS, 2011).

Outra forma de destino seria sua utilização como matéria prima para asfaltar rodovias ou mesmo recapeamento ou “tapa-buracos”.

O presente estudo pode ser compreendido como um momento de uma síntese e posterior análise, para algumas reflexões realizadas no percurso da vida profissional do pesquisador acerca da utilização de pneus usados como fonte de utilização para novas técnicas de massa asfáltica aplicadas em estradas, ruas ou avenidas.

A discussão teórica sobre o tema estudado será apresentada e demonstrado, conforme estabelecido em sumário através da discussão das hipóteses que se pretendem comprovar pelo meio de uma exposição, demonstração e argumentação de idéias, a partir de uma linha de raciocínio dedutivo do tema escolhido apontando para a comprovação da temática do trabalho.

A escolha de um determinado objeto de estudo não acontece por acaso, nem é desprovida de intencionalidade.

A permanência de indagações quer pela inexistência ou insuficiência do conhecimento existente, quer pela insatisfação ou discordância dos resultados divulgados, são fatores que contribuem para a escolha do tema.

A decisão de analisar “Asfalto de Borracha” se deu por constatar a necessidade de uma análise aprofundada capaz de interpretar e evidenciar o sistema citado.

O tema é atual e provoca diversas conseqüências abrangentes tanto para a preservação do meio ambiente como para o destino do descarte de pneus usados, sendo de grande relevância para as organizações no âmbito da aplicação da engenharia.

A razão pela qual a pesquisa foi elaborada é baseada na busca abrangente pelo entendimento e aperfeiçoamento de técnicas e teorias a respeito do aproveitamento de resíduos descartados na natureza.

Baseado nessa crença, a pesquisa apresenta o estudo das maneiras mais utilizadas na recuperação de massa asfáltica, que resultam numa melhoria contínua dos processos, através da utilização de materiais descartados, buscando através dos conhecimentos adquiridos, pleitear e concorrer a posições de destaque dentro da sociedade.

A importância social da pesquisa repousa na possibilidade de indicar nova interpretação sobre o tema analisado. Dessa forma reveste-se de importância em razão do momento em que vive o processo ensino - aprendizagem, onde há uma demanda crescente em busca de maior eficiência ambiental e qualidade de vida social e comunitária.

Por fim, o aprofundamento e o empenho nas questões que envolvem a pesquisa, trazem à academia, o gabarito necessário para se tornar uma referência no desenvolvimento de especialistas.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Segundo Ferreira (2010), em seu dicionário Aurélio, quimicamente a borracha é:

[...] um polímero: um composto constituído por macromoléculas formadas pela união de várias moléculas menores e simples que se repetem uma e outra vez. Este mesmo princípio de união, denominado polimerização, serve de base para a fabricação de uma enorme gama de plásticos por parte da indústria química.

A borracha é um produto natural que se elabora a partir do látex, uma resina branca leitosa que sai do corte da árvore denominada seringueira. Conquanto é originário do Brasil, as sementes foram levadas da Inglaterra em 1876 e ali exportadas a outras áreas sob domínio britânico, determinando que hoje as principais plantações, cerca de 90% do mercado mundial, se encontrem no sudeste asiático, principalmente na Malásia (BAUM, 1946).

No início, as utilidades desta matéria prima eram poucas. Foi o comerciante ferreiro Charles Goodyear (1800-1860) quem descobriu que, o misturando com enxofre e o esquentando, se evitava que fosse tão pegajoso quando estava quente e tão rígido quando esfriava. A partir deste processo, chamado vulcanização, é que se começou a fabricar uma gama muito ampla de produtos como isolamento de cabos elétricos, mangueiras, fitas transportadoras e de maneira destacada, cobertas para transporte de automóveis, caminhões, aviões, dentre outros. No final do século XIX, Michelin na França, Dunlop na Inglaterra e Goodrich nos Estados Unidos fabricaram os primeiros pneus para automóveis (NOGUEIRA E TORRES, 1959).

As empresas fabricantes de pneus mostram pouco interesse na recuperação, já que a borracha que pode ser recuperada dos pneus gastos é pouca quantidade e de qualidade inferior (NOGUEIRA E TORRES, 1959).

Ademais, para a indústria é mais barato recorrer à matéria prima virgem do que a reciclada. A isto devemos lhe agregar os problemas originados pela queima dos mesmos, produzindo fumaças que contaminam o ar e um material azeitoso que contamina a água e os solos; o perigo de incêndio em caso de armazená-los em condições inadequadas; o grande volume e a difícil manipulação que originam nos depósitos, onde se constatou que muitas vezes sobem à superfície depois de enterrados (NOGUEIRA e TORRES, 1959) e a facilidade de juntar água (se não são furados), quando parada, favorece a proliferação de diferentes insetos transmissores de doenças, como por exemplo, a dengue.

A lei dos três R's (reduzir, reciclar e reutilizar) está começando a se aplicar nas estradas. Isto é evidenciado pelos trabalhos de pavimentação recentemente realizados no Estado de São Paulo (ALEGRIA, 2008).

Junta-se as sobras do asfalto, que pode ser utilizado tanto para a construção de novas rodovias como para reformas das já existentes. A forma de coleta desse material é muito simples. Basta cortar o asfalto velho ou já utilizado e misturar com cimento. Desta forma, obtém-se uma massa pronta para uso que pode servir como reforço para as rodovias, independente de sua idade ou estado de conservação.

Esta técnica já foi lançada antes, mas agora é que “começa a ser aplicado em larga escala em algumas estradas brasileiras”. (ALEGRIA, 2008).

A concessionária Ecovias está aplicando o uso do também chamado asfalto “ecológico” em 146 dos 191 quilômetros que está recapeando no sistema Anchieta-Imigrantes, em São Paulo. Entre as capitais, Curitiba (PR) foi a primeira a usar o novo tipo de asfalto, no começo de 2008 (ALEGRIA, 2008)

Incluem-se as ruas urbanas pavimentadas com esse produto, sendo que em São Paulo, a prefeitura começou a usar o asfalto-borracha em 2008, constando na época com quase quatro quilômetros de ruas asfaltadas (ALEGRIA, 2008).

Esta nova aplicação que se dá aos pneus inservíveis, impede que os mesmos sejam incinerados como se fazia antes. O material traz melhorias significativas para a estrada. Ao usar a borracha como um componente da nova estrada, o ruído é reduzido e com isso, também a poluição sonora (ALEGRIA, 2008).

A incorporação da borracha no asfalto produz melhorias como aumento na resistência à fadiga e à deformação da mistura asfáltica, e a capacidade de retardar a propagação de trincas nos revestimentos asfálticos.



Figura 1 - Borracha asfalto

Fonte: UFSC apud Izidoro (2010)

No entanto, o custo dessa recapagem é ainda maior do que se usassem os métodos tradicionais. Apesar de mais caro, vale a pena, dado que o reforço é feito mais tarde e chegará o dia em que todas as estradas do país serão feitas de material reciclagem.

Estudo realizado na Universidade Federal de Santa Catarina (apud Izidoro, 2010) comprovou o potencial de uma tecnologia direcionada a colaborar com a solução do destino de pneus usados. O trabalho avaliou o chamado "asfalto-borracha", uma mistura de betume com granulado de borracha de pneus.

"O desenvolvimento de pesquisas de novas misturas e de métodos eficientes de dimensionamento torna-se absolutamente necessário diante da realidade do Brasil. As composições estudadas neste trabalho são uma alternativa para a melhoria dos nossos pavimentos em termos de durabilidade, segurança e economia, em relação às opções convencionais" (THIVES, 2009 *apud* IZIDORO, 2010).

As misturas com betume modificado com borracha de pneus usados têm sido empregadas com o objetivo de melhorar a capacidade estrutural de pavimentos novos ou que precisam ser recuperados. São, também, uma alternativa para o problema do depósito inadequado dos pneus usados (IZIDORO, 2010).

Embora o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) exija que as empresas fabricantes e as importadoras colem e dêem uma destinação final ambientalmente correta aos pneus usados, eles muitas vezes são depositados em locais inapropriados e se transformam em locais de proliferação de roedores e de insetos transmissores de doenças. (IZIDORO, 2010).

A investigação da professora Liseane (apud Izidoro, 2010) procurou avaliar as propriedades e o desempenho mecânico de misturas com asfalto-borracha,

otimizando a composição com a melhor capacidade estrutural e desempenho mecânico. (IZIDORO, 2010).

Comparados à composição convencional, os resultados mostraram que a incorporação da borracha no asfalto produz melhorias como aumento na resistência à fadiga e à deformação da mistura asfáltica. Melhora também a capacidade de retardar a propagação de trincas nos revestimentos asfálticos. (IZIDORO, 2010).



Figura 2 – Aplicação de Asfalto Borracha sobre Asfalto trincado.

Fonte: Foto do Autor (2011)

A utilização da mistura do betume com a borracha, e posteriormente com agregados, não é uma tecnologia nova. Nos Estados Unidos é utilizada há pelo menos 40 anos. No Brasil, a partir da década de 90, foram iniciados estudos sobre o assunto, mas o material ainda precisava de avaliações do comportamento mecânico para prever seu uso como camada de revestimento. (IZIDORO, 2010).

A composição do alfalto-borracha é produzida com pneu usado triturado por meio de dois processos (ambiente e criogênico), formando a borracha granulada que, adicionada ao asfalto, dá origem ao asfalto-borracha. É uma tecnologia avançada, embora tenha 40 anos. (IZIDORO, 2010).

Segundo Liseane (apud Izidoro, 2010) sua pesquisa possibilitou uma análise de custo/benefício e mostrou que a redução de espessura das camadas betuminosas de desgaste e a mistura asfalto-borracha conduziram a uma economia de até 32% em relação ao material convencional. (apud IZIDORO, 2010).

Este trabalho recebeu, no mês de maio, o prêmio de melhor tese no biênio 2008/2010 na área de pavimentação rodoviária do Instituto Brasileiro do Petróleo, Gás e Biocombustíveis (IBP). A premiação é concedida a cada dois anos nos Encontros de Asfalto, organizados pelo Instituto para a melhor tese desenvolvida no âmbito das universidades brasileiras. (IZIDORO, 2010).

1.1 A UTILIZAÇÃO DA BORRACHA

A reutilização de pneus é de amplo uso e difusão naqueles países que possuem regulamentos ambientais claros e eficientes. A borracha pode ser natural ou sintética. A de origem natural elabora-se a partir do látex, que é uma resina branca leitosa extraída da árvore de borracha, originária do Brasil, foi levada a Inglaterra em 1876 e de lá exportado a outras zonas sob domínio britânico, determinando que hoje as principais plantações – 90 % do mercado mundial – se encontrem no sudeste asiático, principalmente na Malásia (SILVA, 2006).

Adequadas regulamentações limitam o uso dos pneus, devido a deterioração que se produz no desenho do mesmo, estando sua vida útil relacionada com a qualidade do pneu em geral, o tipo de borracha e o uso e tratamento que o mesmo receba.

Segundo o Manual de Gerenciamento Integral de Resíduos Sólidos Urbanos, (BRASIL, 2001) o processo de regeneração do pneu implica a separação da borracha vulcanizada dos demais componentes e sua dissolução com vapor e produtos químicos, como álcalis, ou óleos minerais.

O produto desta digestão é esquentado em moinhos até a obtenção de um manto uniforme, ou entrosado, para obter um material granulado a borracha regenerada usa-se em compostos destinados a produtos com menor exigência quanto a desempenho, tais como tapetes, protetores, sola de calçado, pneus industriais e para bicicletas (BRASIL, 2001)

Pode ser enumerado seu uso em outros fins, como por exemplo, cercas de segurança, cercos de contenção de areia nas praias, paragolpe de embarcações, redes, jogos, etc. Especificamente destaca-se que nos Estados Unidos se começou a exigir nas licitações públicas que as empresas construtoras utilizem uma percentagem de 5 % de pneus picados ou em pó nas obras a construir (SEGRE, 1999).

De acordo com o moinho originam-se diferentes tamanhos de partículas de borracha. Atualmente na Alemanha, onde os pneus também se queimam ou terminam nos aterros, os cientistas da Universidade de Chemnitz (apud Brasil, 2001) descobriram um procedimento pelo qual após moer a borracha, se funde com

plástico propileno, que permite fabricar um material resistente à tração, extensível e fácil de trabalhar, com o que podem ser produzido, por exemplo, pára-choque de veículos.

Segundo o citado manual (BRASIL, 2001) nos Estados Unidos, Japão e Alemanha estão-se ensaiando diversos processos com o objetivo de transformar os hidrocarbonetos presentes nos pneus em novos materiais como óleo e fumaça negra, emoldurado dentro da obtenção de matéria prima pura.

1.2 OS PNEUS

Os pneus podem ser classificados em radiais e diagonais segundo a estrutura da carcaça. Os mesmos centram uma grande percentagem da indústria da borracha constituindo 60 % da produção anual do mesmo (LAGARINHOS e TENORIO, 2008).

Os elastômeros ou borrachas são materiais poliméricos cujas dimensões podem variar segundo seja o tipo de esforço ao que são submetidos, voltando a sua forma quando o esforço se retira (LAGARINHOS e TENORIO, 2008).

A borracha natural extrai-se a partir da árvore *Hevea Brasiliensis* que é um látex com partículas de borracha em suspensão. Após um processo de secagem e de defumação utilizam-se diferentes produtos. Hoje em dia atinge 30 % do mercado das borrachas, sendo o restante ocupados pelas borrachas sintéticas (GOMES, 2011).



Figura 3 - Pneu automotivo

Fonte: Goodyear (apud Mundo das Tribos, 2011)

De acordo com Montenegro e Pan (2011) os tipos de borracha mais empregados na fabricação dos pneus são:

- Borrachas naturais (NR)
- Estireno – Butadeno (SBR)
- Polibutadenos (BR)
- Poliisoprenos (IR)

A combinação dos materiais realiza-se de maneira que as borrachas naturais proporcionem elasticidade e estabilidade térmica. Esta combinação de efeitos favorece a durabilidade e a capacidade de adaptar-se às novas exigências do trânsito (MONTENEGRO e PAN, 2011).

A borracha de isopreno ou poliisopreno é uma borracha natural sintética, ou seja, é um cis-1,4-poliisopreno obtido sinteticamente. A característica técnica do produto sintético depende da percentagem de 1,4 cis, sendo tanto mais parecida com a borracha natural quanto mais cis contém (NAGDI, 1987; HOFMANN, 1989).

Este comportamento geral é devido em parte ao impedimento estérico do grupo metilo e o átomo de hidrogênio no mesmo lado do duplo enlace carbono-carbono.

Esta corrente complementa-se com outro isômero estrutural chamado gutapercha (NAGDI, 1987; HOFMANN, 1989).

1.3 OS RESÍDUOS

Os resíduos, de forma geral, são dejetos que contaminam e afetam o meio ambiente, e também são recursos e energia desaproveitada. Por isso, o melhor resíduo é o que não é gerado.

A Norma 91/156/CEE do Conselho das Comunidades Europeias de 18 de março de 1991 diz em seu artigo terceiro (EURLEX, 2011):

1. Os Estados membros tomarão as medidas adequadas para fomentar:

a) em primeiro lugar, a prevenção ou a redução da produção dos resíduos e de sua nocividade, especialmente mediante:

- o desenvolvimento de tecnologias limpas que permitam uma poupança maior de recursos naturais

- o desenvolvimento técnico e a comercialização de produtos desenhados de tal maneira que não contribuam ou contribuam o menos possível, por suas características de fabricação, utilização ou eliminação, a incrementar a quantidade ou a nocividade dos resíduos e os riscos de contaminação.

- O desenvolvimento de técnicas adequadas para a eliminação das substâncias perigosas contidas nos resíduos destinados à valorização.

b) em segundo local:

- i) a valorização dos resíduos mediante reciclado, novo uso, recuperação ou qualquer outra ação destinada a obter matérias prima secundárias ou

- ii) a utilização dos resíduos como fonte de energia”

Por conseguinte ao nos propor qualquer problema relacionado com a produção de resíduos e/ou a contaminação devemos ver a maneira de evitar, atuar sobre as causas, impedir que se produza: PREVENIR.

Caberia dizer que as soluções são parte do problema, e não somente a solução.

As possibilidades de reciclagem dos pneus fora de uso, isto é o aproveitamento de seus componentes materiais para outros usos diferentes da valorização energética experimentaram nos últimos tempos, um importante aumento. Não obstante a dia de hoje a percentagem de pneus fora de uso que são reciclados é ainda muito baixo. Deduz-se que existem claras possibilidades de aumentar a reciclagem dos pneus fora de uso (SEGRE, 1999).



Figura 4– Reciclagem de pneus

FONTE: Indriunas (2011)

1.4 RECICLADO

Como aproveitamento dos materiais, pode ser assinalado que existem diversos procedimentos para anular as características elásticas da borracha dos

pneus fora de uso, lhes dotando novamente de propriedades plásticas como as da borracha não vulcanizada. Os processos são descritos a seguir:

Regeneração

Com estes processos de regeneração (não de desvulcanização) se rompem as grandes correntes, embora (persistam) os enlaces de enxofre, podendo voltar a vulcanizar-se de novo. Conquanto, a matéria prima obtida por este procedimento dista muito em propriedades da matéria prima original (LAGARINHOS e TENORIO, 2008).

A borracha regenerada em teoria poderia ser utilizada na fabricação de pneus, mas a cada dia as misturas utilizadas na fabricação dos pneus, aos que se exigem altíssimos custos, têm que cumprir com especificações tão estritas que tornam difícil, no momento, a utilização generalizada de borracha regenerada, além de considerações de tipo econômico, podendo ser utilizado na fabricação de outros produtos de borracha, ou pneus maciços para outro tipo de veículos.

Atualmente a transformação mais típica dos pneus usados para seu reciclado é a trituração, bem simplesmente mecânica em moinhos trituradores, ou por meio de métodos criogênicos. O tratamento criogênico utiliza nitrogênio líquido para esfriar o pneu até temperaturas entre -50°C a -100°C , com o qual a borracha entra em estado vítreo, se tornando muito frágil e em consequência mais fácil de triturar (LAGARINHOS e TENORIO, 2008).

A trituração, mecânica ou criogênica, gera pedaços, partículas ou pó de diferentes tamanhos, segundo as necessidades e o destino que se preveja para os mesmos.

Por meio de ímãs, separa-se o resíduo de aço, utilizável este como lixo, e por aspiração, as fibras, que podem ser utilizado como material de recheado ou isolante.

De acordo com Lagarinhos e Tenório (2008) existem múltiplas aplicações do pó de borracha, como são:

- drenagem em campos de desporto,
- pistas esportivas,
- ferros para revestimentos,
- produtos moldados,
- bandagens,
- encanamentos,
- solado para calçado.

Os itens que fazem parte da composição de pneus radiais para automóveis são descritos na figura 5.

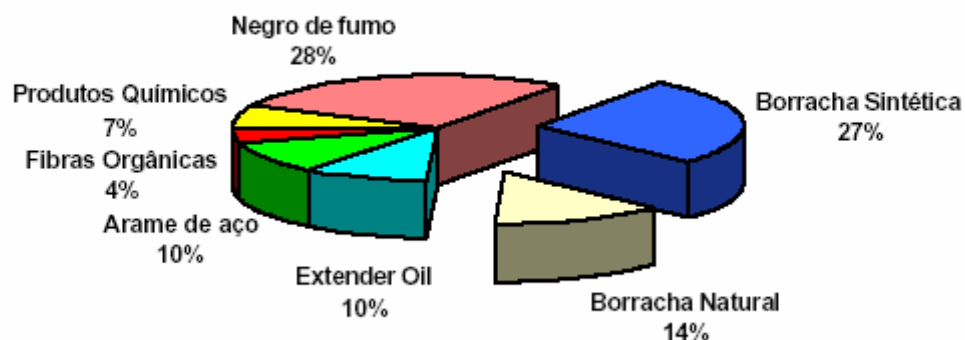


Figura 5 – Composição de Pneus Radiais para Automóveis

Fonte: Paula (2004)

A Figura 6 apresenta a descrição das partes e os respectivos componentes de um pneu radial de automóvel.

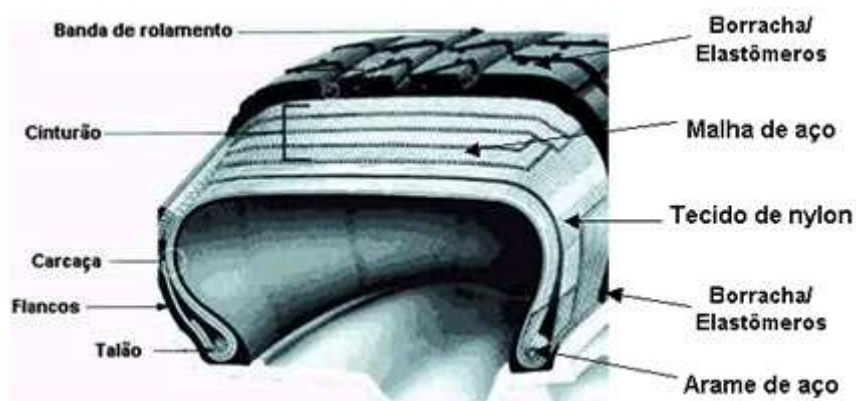


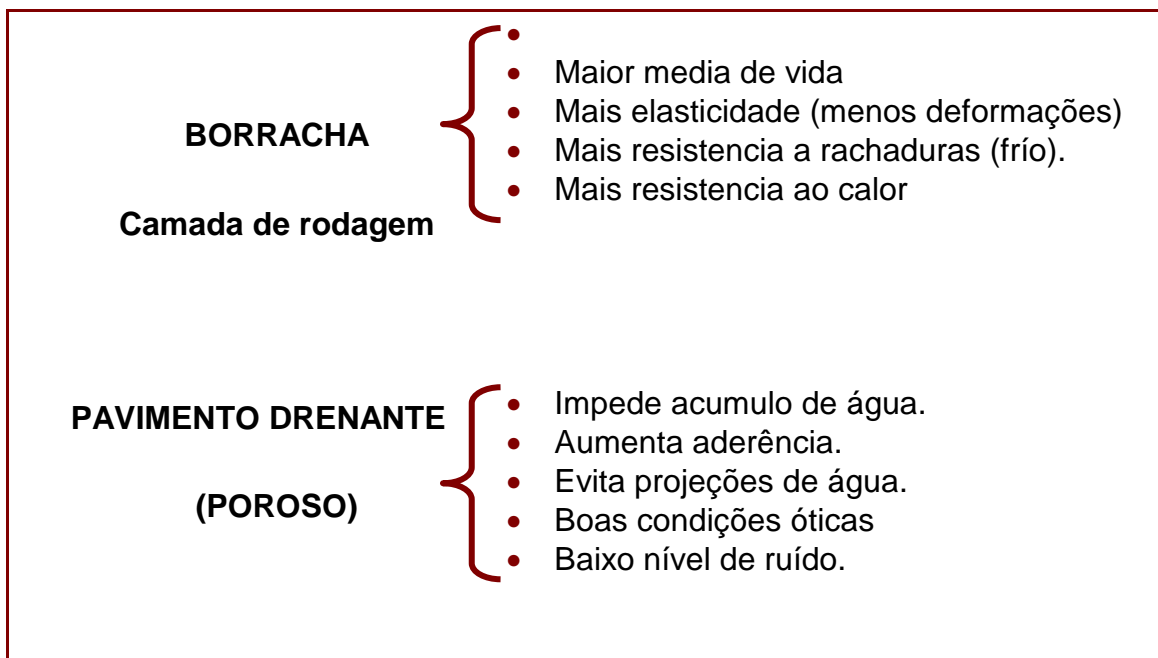
Figura 6 – Corte de um pneu radial de automóvel

Fonte: Andrietta (2002)

1.5 UTILIZAÇÃO EM OBRAS PÚBLICAS

Uma aplicação realmente interessante para borracha granulada são as estradas. Existem experiências em diversos países, consistentes em sua mistura

com os betumes asfálticos ou com os preenchimentos, modificando portanto as características do pavimento normal (SOARES e ASSIS, 2011).



Fonte: SOARES e ASSIS, 2011



Figura 7 – Permeabilidade do Asfalto Borracha.

Fonte: Foto do Autor (2011)



Figura 8 – Demonstração da permeabilidade do Asfalto Borracha.

Fonte: Foto do Autor (2011)

A borracha procedente dos pneus usados pode ser utilizada como parte do material ligante ou camada seladora do asfalto (borracha asfáltica) ou como árido (concreto de asfalto modificado com borracha). As camadas seladoras de borracha asfáltica utilizam, ao redor cerca de 1000 pneus por quilômetro selado de estrada de duas pistas (SOARES e ASSIS, 2011).

O sistema que emprega borracha como árido utiliza entre 4.500 e 7.500 pneus por quilômetro de estrada com duas pistas repavimentada com uma camada de 7,5 cm. A capacidade volumétrica de reutilização em pavimento asfáltico supera as existências de pneus usados (SOARES e ASSIS, 2011).

A borracha triturada utilizou-se largamente no Japão para elaborar colchões de ferrovia, que suprimem as vibrações e a contaminação por ruídos. Estes

colchões colocam-se entre o concreto e os dormentes. Entre 1975 e 1981 empregaram-se em torno de 70.000 toneladas de borracha triturada para colocar uma tira de colchoamento de 131 km nas vias de ferrovia (BERTOLLO, FERNANDES e SCHALCH, 2002).

A borracha na estrada, por qualquer dos diversos procedimentos de integração, bem misturando com os ligantes ou incluído nos preenchimentos, modifica as características do pavimento, conferindo-lhe características benéficas para o meio ambiente. Por exemplo, permite uma menor espessura da camada de rodagem, uma maior duração, menos fissuras, maior resistência ao calor, mas também os pavimentos modificados com borracha, e mais ainda se são do tipo drenante, reduzem o nível de ruído de contato pneumático /estrada, oferecem um maior potencial de aderência, maior duração dos pneus, impedem o acúmulo de água e a projeção da mesma aos veículos que precedem, melhorando as condições óticas, etc.

A utilização de grânulos de borracha em estradas, procedentes dos pneus não utilizados, por seu maior custo de tratamento, compete com desvantagem com os polímeros comerciais, plásticos ou elastômeros. Por esta razão seria desejável fomentar a utilização deste resíduo.

1.6 NOVOS PRODUTOS PLÁSTICOS

Também existem avanços no desenvolvimento de produtos plásticos a partir de triturado de borracha, com adição de ligantes de tipo termoplástico ou de ligantes

tipo poliuterano, e podem ser fabricados diferentes materiais e objetos como solas de sapatos, carcaças, lâminas isolantes, respaldos, capacetes de motorista, etc.

Como pode ser visto, as opções para prevenir a contaminação do meio ambiente, aumentando a vida útil do pneu, reutilizar e reciclar são muito importantes .A utilização de pneumáticos triturados na construção de estradas e outras obras públicas pode empregar em massa todos os resíduos de pneus inservíveis NFU (neumáticos fora de uso) disponíveis posteriormente, sem necessidade de recorrer a processos de incineração.

As possibilidades de criação de emprego e de desenvolvimento de novas tecnologias, com a reutilização e o reciclado de pneus devem motivar as administrações públicas, para favorecer e fomentar estas opções.

1.7 BORRACHA COMO ASFALTO

A história de adição de asfalto de borracha reciclada de pneus para materiais de pavimentação remonta à década de 1940 quando os Estados Unidos começou a comercializar um produto desvulcanizado ou borracha reciclada, denominado Ramflex, como uma partícula seca aditivada à mistura de asfalto (JIANG, 2005).



Figura 9 – Classificação granulométrica dos agregados.

Fonte: Foto do Autor (2011)



Figura 10 – Produção de Asfalto Borracha.

Fonte: Foto do Autor (2011)



Figura 11 – Produção de Asfalto Borracha.

Fonte: Foto do Autor (2011)



Figura 12 – Carregamento de Asfalto Borracha.

Fonte: Foto do Autor (2011)



Figura 13 – Carregamento de Asfalto Borracha.

Fonte: Foto do Autor (2011)



Figura 14 – Processo de mistura estocável do asfalto-borracha.

Fonte: BERNUCCI et al., 2006.

Em meados da década de 1960, Charles McDonald desenvolveu uma pasta de asfalto modificado com a adição de pó de pneu, chamado Overflex. O pó de pneu pode ser incorporado por via úmida ou via seca, em processo molhado referindo-se à modificação da pasta de asfalto de cimento com 5% de modificador do miolo fino pneu de borracha a uma temperatura elevada (ROBERTS et al, 1996).

O processo seco inclui a mistura de partículas de borracha com os agregados antes da adição ao asfalto. As principais diferenças entre os dois processos consistem no tamanho das partículas de borracha, a quantidade de borracha, a função de borracha, e instalação da incorporação desse material (ROBERTS et al, 1996).

Embora o processo seco apresente algumas vantagens em relação ao processo úmido, principalmente em relação aos custos envolvidos e com a maior quantidade de borracha que se utilizará, a investigação se concentrou principalmente no processo úmido. Esta escolha explica-se pelo comportamento irregular de algumas seções de experiência construídas com o processo seco, a diferença do processo úmido, que apresentou resultados mais satisfatórios (BERTOLO et al., 2004).

A Figura 15 apresenta a comparação entre asfalto-borracha e asfalto convencional no momento da usinagem.

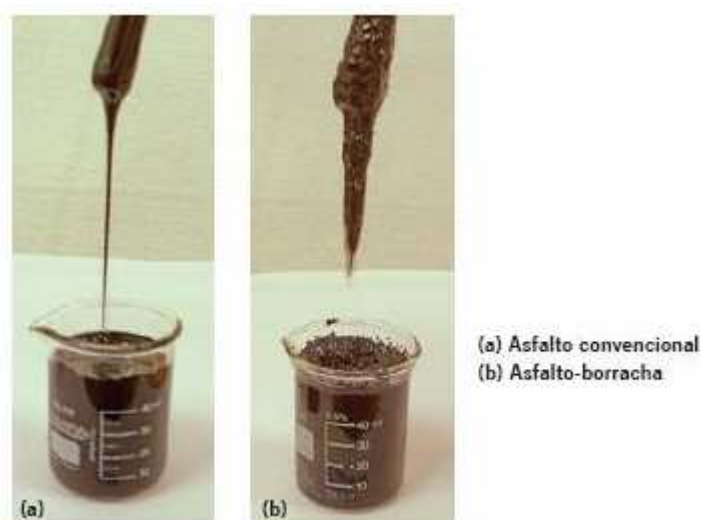


Figura 15 – Comparação de consistência entre asfalto-borracha e asfalto convencional

Fonte: BERNUCCI, et al., 2006.

1.7.1 Mistura asfalto-borracha (processo úmido)

Segundo estudos realizados por Oda e Fernandes Junior (2001), o processo úmido consiste da mistura de cimento asfáltico e borracha moída (5 a 25% do peso total de ligante - asfalto mais borracha) a uma temperatura elevada (150 a 200 graus C), durante um determinado período de tempo (20 a 120 min).

Essa mistura é classificada como uma reação e forma um composto chamado asfalto-borracha (asphalt-rubber), com propriedades reológicas diferentes do ligante original, podendo ainda ser incorporados aditivos para ajustar a viscosidade da mistura (diluentes). O grau de modificação do ligante depende de vários fatores, incluindo o tamanho e a textura da borracha, a proporção de cimento asfáltico e borracha, o tempo e a temperatura de reação, a compatibilidade do

ligante com a borracha (polaridades), a energia mecânica durante a mistura e reação e o uso de aditivos. Neste trabalho, não são considerados os fatores energia mecânica, tipo de borracha e diluente, pois se utiliza um único agitador, adquirido exclusivamente para esta pesquisa, um único tipo de borracha (polar) e não são utilizados aditivos. Os materiais utilizados nas misturas são borracha de pneus descartados moída e cimento asfáltico de petróleo. (ODA E FERNANDES JR, 2001).

Borracha de pneus

A borracha utilizada no ligante asfalto-borracha pode ser proveniente de pneus de automóveis ou caminhões. Geralmente, pneus de automóveis são compostos por cerca de 16 a 20% de borracha natural e de 26 a 31% de borracha sintética, enquanto pneus de caminhões são compostos por cerca de 31 a 33% de borracha natural e de 16 a 21% de borracha sintética. Por exemplo, um pneu de veículo de automóvel típico, com peso aproximado de 10,5 kg, apresenta, em relação ao peso total do pneu, 27% de borracha sintética, 20% de borracha natural, 25% de negro-de-fumo, 14% de produtos químicos (óleos, pigmentos et.), 10% de aço e 4% de poliéster e náilon (Goodyear, 1999; ODA E FERNANDES JR, 2001).

Os autores Oda e Fernandes Jr. (2001) discutem, a seguir, os fatores relacionados à borracha que são considerados neste trabalho.

a) Tipo de borracha

A borracha utilizada neste trabalho foi fornecida pela Relastomer S.A., cujo processo mistura borracha de pneus de automóveis e caminhões e tem como característica básica recuperar borrachas vulcanizadas a baixas temperaturas (máximo de 80 graus C). O processamento, dessa forma, ocorre na fase líquida, através de um catalisador heterogêneo, sendo a separação da borracha e do aço feita por filtragem e magnetismo. O produto gerado (borracha em pó) apresenta alta homogeneidade e mantém muitas das propriedades físicas da composição original. A borracha utilizada é composta por moléculas polares, que no modelo molecular dos asfaltos (ASPHALT INSTITUTE, 1995 apud VASCONCELOS e SOARES, 2011) formam a estrutura que fornece as propriedades elásticas e que são envolvidas pelas moléculas apolares, que contribuem para as propriedades viscosas. (ODA E FERNANDES JR, 2001).

b) Tamanho das partículas de borracha

A granulometria da borracha pode variar com o processo de produção, principalmente em função dos equipamentos e da temperatura de moagem (Heiztman, 1992 apud ODA e FERNANDES JR., 2001). A borracha utilizada neste trabalho é composta de partículas que passam na peneira #40 (0,42 mm) e ficam retidas na peneira #100 (0,150 mm), divididas em duas frações: uma, composta de partículas que passam na peneira #40 e ficam retidas na peneira #50 (0,297 mm), denominada neste trabalho de #40, e outra, composta de partículas que passam na peneira #50 e ficam retidas na peneira #100, denominada de # 50. (ODA E FERNANDES JR, 2001).

c) Teor de borracha

Segundo Page et al. (1992 apud ODA E FERNANDES JR, 2001), o teor de borracha em camadas de revestimento densas é de cerca de 5% de borracha passada na peneira #80 (0,178 mm), enquanto que em camadas de revestimento com granulometria aberta o valor mais utilizado é de 12% de borracha passada na peneira #40. Em aplicações de ligante asfalto-borracha entre a camada de revestimento existente e a camada de reforço, podem-se adotar teores mais elevados, de até 20% de borracha passada na peneira #20 (0,84 mm), a uma taxa de cerca de 2,7 l/m². (ODA E FERNANDES JR, 2001).

A Figura 16 mostra pavimento asfáltico

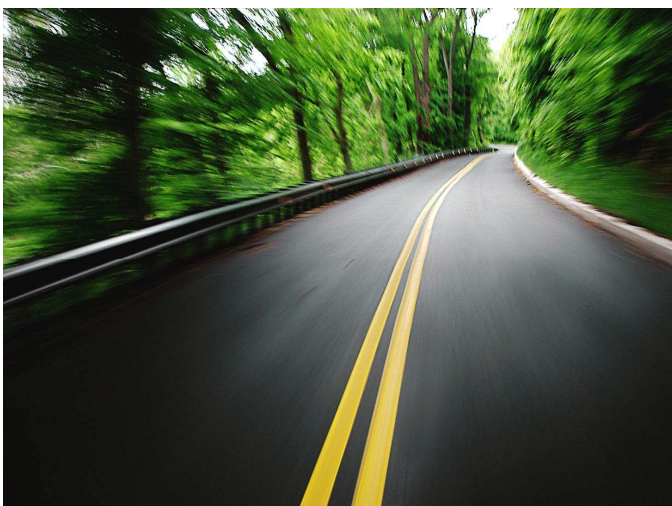


Figura 16 – Pavimento asfáltico

Fonte: Goodyear (apud Mundo das Tribos, 2011)

Ligante asfáltico

No Brasil, os asfaltos 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), e os números indicam, respectivamente, a penetração (em 1/10 mm) e o valor mínimo para a viscosidade a 60 graus C (em 102 Poise). No trabalho de Oda e Fernandes Jr. (2001) utilizou-se o CAP 20, que é o ligante asfáltico mais empregado nas obras de pavimentação no Estado de São Paulo.

O material apresenta as seguintes características: ponto de amolecimento de 51°C, ponto de fulgor de 289°C e penetração de 41,7 (1/10 mm). Como o teor de ligante varia de acordo com o teor da borracha, uma vez que a quantidade de ligante será o complemento da porcentagem de borracha, neste trabalho adotam-se os teores de ligante de 94, 88, 82 e 76%. Alguns ensaios realizados na Universidade da Flórida, em Gainesville, utilizaram CAP 30 (Ruth et al., 1997 apud ODA E FERNANDES JR, 2001).

Asfalto de borracha em pavimentos PLUSRIDE® (*sistema sueco*)

Esta mistura prepara-se mediante um processo que emprega 3% do peso da mistura total das partículas de borracha de textura fina e granulado grosso para substituir a alguns dos agregados da mistura (FHWA, 1993).

O objetivo da utilização desta mistura era exclusivamente o de incrementar a flexibilidade e duração dos asfaltos. Ademais detectam-se as seguintes vantagens (FHWA, 1993):

- Protege as condições ambientais ao utilizar todo o pneu em seu processo de reciclado, utilizando tudo na mistura, exceto o metal e o têxtil.
- Redução de ruídos observaram-se reduções de até 10 decibéis com relação aos asfaltos tradicionais.

- Resistência ao deslizamento a textura da superfície e os grânulos de borracha que sobressaem, demonstraram que conferem a este tipo de pavimentos uma melhor resistência ao deslizamento em todo tipo de condições atmosféricas, isto é, em tempo seco, úmido e com geadas.

1.7.2 Ligante asfáltico sistema borracha / (Arizona processo)

Consiste de uma mistura de cimento asfáltico e uma alta porcentagem de fragmentos de borracha de pneus inservíveis (pelo menos 15% do peso total de aglutinante). Quando estes fragmentos se misturam ao asfalto quente, se forma um aglutinante, resistente e elástico (FONTES et al., 2007).

De acordo com a Petrobras (2011)

O Asfalto-borracha é um asfalto modificado por borracha moída de pneus. Além de ser uma forma nobre de dar destino aos pneus inservíveis, resolvendo um grande problema ecológico, o uso de borracha moída de pneus no asfalto melhora em muito as propriedades e o desempenho do revestimento asfáltico.

O Asfalto-borracha é aplicado por equipamentos convencionais de pavimentação sendo recomendado para aplicações que requeiram do ligante asfáltico um desempenho superior, alta elasticidade e resistência ao envelhecimento, tais como revestimentos drenantes, SMA (*Stone Mastic Asphalt*), camadas intermediárias de absorção de tensões, camadas anti-reflexão de trincas e outras (PETROBRAS, 2011).



Figura 17 – Aplicação de Asfalto Borracha.

Fonte: Foto do Autor (2011)



Figura 18 – Aplicação de Asfalto Borracha.

Fonte: Foto do Autor (2011)

Tem como vantagens a alta elasticidade, a alta resistência ao envelhecimento, alta coesividade e excelente relação benefício/custo (PETROBRAS, 2011).

Por tanto de todo o exposto neste tópico, pode ser deduzido que há um campo amplo de aplicações para a borracha triturada, embora nem todas se encontrem plenamente desenvolvidas na atualidade. Ademais, o andamento de uma planta de valorização de pneus de grande capacidade pode modificar a situação atual do produto.

1.8 ASFALTO ECOLÓGICO

De acordo com Di Giulio (2007) o pesquisador José Leomar, da USP de São Carlos, chama a atenção para o termo "asfalto ecológico" — amplamente usado e divulgado erroneamente, segundo ele, para se referir ao asfalto-borracha. Ele alega que "quanto maior a temperatura de usinagem das misturas asfálticas, pior é a poluição atmosférica por produtos presentes nos asfaltos". Ele explica que a produção do asfalto-borracha, por exigir maiores temperaturas para mistura da borracha com o asfalto convencional, gera mais poluição atmosférica. (DI GIULIO, 2007).

"Em outras palavras", continua ele, "o asfalto-borracha ajuda a minimizar o problema de disposição inadequada dos pneus, mas ser chamado de 'asfalto ecológico' foi uma jogada de marketing de algumas empresas, muitas das quais não fazem investimentos em suas plantas industriais para minimizar a poluição atmosférica (nem são cobradas pelos órgãos ambientais)", diz o pesquisador.

"Resolvemos um problema e causamos outro que pode — e, na minha opinião, é — ser bem pior para o meio ambiente", argumenta Leomar. (DI GIULIO, 2007).

Nos laboratórios de pesquisa, de acordo com ele, os cuidados devidos são tomados, mas em escala industrial ainda há muito a ser feito antes que o asfalto-borracha possa ser realmente chamado de ecológico. (DI GIULIO, 2007).

Já para Luciano Specht (2007), da UFRGS, citado por DI GIULIO (2007), é verdade que o asfalto-borracha deve ser aquecido a temperaturas maiores; mas também é fato consumado que não faz mal à saúde dos operários nem polui mais que o convencional, desde que os cuidados tradicionais sejam tomados. "Quanto à polêmica de que o asfalto-borracha é mais poluente, nos Estados Unidos, que é o grande utilizador dessa tecnologia, essa discussão está ultrapassada desde a década de 90 e o estado da Califórnia, por exemplo, que possui a vanguarda em muitos aspectos ambientais (catalisador para automóveis, ente outros), utiliza milhões de pneus por ano em asfalto-borracha", analisa. Ainda segundo Specht, todas as usinas de asfalto, via de regra, possuem filtros que evitam que a fumaça do combustível e o pó de pedra sejam lançados na atmosfera e, para funcionarem, precisam de licença ambiental (ou seja, são fiscalizadas pelo poder público). (DI GIULIO, 2007).

A Figura 19 apresenta a aplicação do asfalto-borracha.



Figura 19 – Borracha como asfalto

Fonte: Di Giulio (2007)

1.8.1 Pavimentação Asfáltica

Segundo estudos realizados por Lagarinhos e Tenório (2008) 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.

Nas misturas asfálticas, existem dois processos: o processo úmido e o processo seco. No processo úmido são adicionadas borrachas com granulometria 0,6 mm, no cimento asfáltico de petróleo – CAP, produzindo um novo tipo de ligante denominado "asfalto-borracha". No processo seco, partículas de borracha substituem parte dos agregados pétreos. Após a adição do ligante forma-se um produto denominado "concreto asfáltico modificado pela adição da borracha" (ESTAKHRI et AL, 1992 apud LAGARINHO, 2008).

As misturas de asfalto-borracha têm sido bastante empregadas nos Estados Unidos, principalmente nos estados do Arizona, Califórnia, Flórida e Texas, em trabalhos de recuperação estrutural de pavimentos degradados, em camadas de

revestimentos de pavimentos novos e também em serviços de manutenção corretiva (LAGARINHOS E TENORIO, 2006).

No Brasil a utilização do asfalto-borracha ainda é incipiente, não existe nenhum incentivo por parte do governo para a utilização do asfalto-borracha. A primeira aplicação no Brasil foi feita em agosto de 2001. As concessionárias das rodovias privatizadas estão fazendo alguns testes com a aplicação do asfalto-borracha que tem inúmeras vantagens, entre elas:

aumentar a vida útil do pavimento em 30%, quando comparado com o asfalto convencional; retardar o aparecimento de trincas e selar às já existentes; reduzir a espessura da camada aplicada, em até 50%, quando comparada a projetos que usam o asfalto convencional; apresentar potencial para utilização de um número significativo de pneus usados; reduzir o ruído e a manutenção do pavimento, entre outros (LAGARINHOS E TENORIO, 2006).

A forte demanda de pneus em todas as escalas, derivada da presença cada vez maior do veículo na sociedade, deu lugar ao aparecimento de um grave problema como somatório de determinados desequilíbrios do meio ambiente, da contaminação atmosférica, ruídos, invasão de espaços tradicionalmente ocupados pelos cidadãos e como não a produção de resíduos.

O pneu ocupa um destacado primeiro lugar entre todos os artigos de borracha e se compõe e sua grande maioria de borracha (62%), embora levem outros aditivos em diferentes percentagens, tais como betume (3,0%), Óxido de zinco (3,0%), Ácido estearico (2,5%), Enxofre (2,0%), Antioxidante (0,60%), Acelerador (0,6%) (CARVALHO, 2011).

Dessa forma, quanto a sua degradabilidade por efeito da luz solar, pode ser observado na que para a maioria de borrachas tanto naturais como sintéticas, tal efeito é nulo ou pouco apreciável, o que confirma a persistência do resíduo em local do descarte.

Sendo assim, conforme se comentou anteriormente, os pneus usados constituem, hoje em dia, um dos problemas mais importantes, junto dos óleos usados, de resíduos que por suas características merecem uma atenção especial. Não se trata de resíduos catalogados como perigosos mas sim de gerenciamento especial dentro dos assimiláveis a urbanos (ABLP, 2011).

Segundo as normas da ABNT as normas de classificação dos resíduos são as seguintes:

- Normas ABNT - Resíduos Sólidos
- NBR 10.004 - Resíduos Sólidos – Classificação
- NBR 10.005 - Lixiviação de Resíduos
- NBR 10.006 - Solubilização de Resíduos
- NBR 10.007 - Amostragem de Resíduos
- NBR 10.703 - Degradação do Solo - Terminologia
- NBR 12.988 - Líquidos Livres - Verificação em Amostra de Resíduo

A competência de gerenciamento recai nas Prefeituras, que por si mesmo não podem assumir por impossibilidade técnica e econômica. Devido a isto a

Administração coordena um planejamento para a recolha e tratamento destes resíduos, em que necessariamente deverão intervir as empresas produtoras e revendedoras de pneus.

Atualmente os pneus usados encontram destinos muito diferentes e usos muito diversos. Não são poucas as toneladas destes resíduos utilizadas como combustível em fornos, em grande parte, ilegais, e sem nenhum tipo de controle do meio ambiente, o que provoca graves episódios de emissões poluentes.

Um grande número de pneus inservíveis são depositados em ambientes e espaços abertos à espera de um tratamento de “recauchutagem” que nem sempre chega, este agregado dá lugar ao aparecimento de roedores e insetos (em especial mosquitos), bem como avaliação do risco de incêndios de difícil controle.

A nível internacional, não existem estatísticas confiáveis sobre estimativas de produção de pneus usados, embora os dados de que se dispõem indicam que esta pode rondar 5.000.000 Toneladas/ano. A classificação dos pneus usados como resíduos não perigosos, dificulta de alguma maneira o controle e, por tanto, sua quantificação. Embora, possa ser feito uma estimativa bastante acertada, a partir dos dados estatísticos dos veículos em circulação (ORSI e SIMON, 2006).

MÉTODOS DE RECICLAGEM

1.9 OUTRAS APLICAÇÕES DA BORRACHA DE PNEU

De acordo com estudos realizados por Di Giulio (2007), cerca de 60% dos pneus reciclados no Brasil são usados na indústria de cimento, como combustível alternativo no lugar do carvão. O restante é utilizado para laminação — quando o pneu é cortado em fatias que são usadas para a produção de solados de sapatos e cintas — e em artefatos de borracha, como amortecedores e tapetes automotivos.

O Instituto Via Viva, uma Organização da Sociedade Civil de Interesse Público, criou uma solução de concreto inovadora, que utiliza a borracha triturada de pneus velhos e é capaz de diminuir as conseqüências causadas por acidentes de trânsito. A técnica, que levou três anos de pesquisa e recebeu investimentos de mais de R\$ 800 mil, torna o concreto mais deformável e, por isso, garante melhor desempenho durante o impacto de veículos em barreiras rodoviárias que utilizam essa composição.

"Com a adição da borracha em sua estrutura, essas barreiras deixam de ser blocos rígidos para se tornarem uma estrutura semideformável. Assim, ao bater no concreto, o veículo volta para a pista com uma velocidade reduzida. Isso traz menos danos físicos e materiais",

Conforme explica o instituto Via Viva criador da técnica, conhecida como concreto ecológico Via Viva. (DI GIULIO, 2007).

A Figura 20 aponta para um amontoado de pneus fora de uso descartados.



Figura 20 – Descarte de pneus inservíveis

Fonte: Yunes (2000)

Até o momento, o instituto Via Viva realizou testes estáticos que verificam propriedades mecânicas como resistência à compressão, à tração e à deformação. Esses testes, feitos em parcerias com a Universidade Estadual de Campinas (Unicamp) e com a Escola Politécnica da USP, têm mostrado a possibilidade de redução significativa dos danos causados pelo impacto de veículos. (DI GIULIO, 2007).

Alguns trechos da rodovia Raposo Tavares e da Marginal Tietê, em São Paulo, já utilizam a barreira rodoviária feita com esse tipo de concreto. Essas instalações, só foram possíveis graças às parcerias com o Departamento de Estradas e Rodagem (DER), responsável pelo trecho específico da Raposo Tavares, com o Departamento de Águas e Energia Elétrica, responsável pelo trecho da Marginal, e com a concreteira Engemix. (DI GIULIO, 2007).

O concreto também pode ser utilizado na construção de contra-piso de apartamentos e na pavimentação rodoviária ou urbana, dormentes, guias e contenção de encostas. No ano passado, o concreto foi testado também em calçadas. O primeiro local a receber a novidade foi a calçada da praça Esther Mesquita, no bairro paulistano de Higienópolis. Com a subprefeitura da Sé de São Paulo, o Instituto Via Viva reformou o local utilizando 420 pneus numa área de 400 metros quadrados — pouco mais de um pneu por metro quadrado. Recentemente, o Banco Itaú, a estação Sé do Metrô e o condomínio Farol das Praias, na Riviera São Lourenço — litoral paulista — também adotaram esse concreto em suas obras e reformas. (DI GIULIO, 2007).

A Tabela 1 mostra a guia de seleção de métodos de reciclagem.

Tabela 1 – Guia de seleção de métodos de reciclagem

TIPOS DE DEFEITOS NO PAVIMENTO	RECICLAGEM				
	a frio	a quente	a quente <i>in situ</i>	a frio <i>in situ</i>	Rec. rofunda <i>(full depth¹)</i>
Defeitos de superfície					
Desintegração	X	X	X ²		
Exsudação	X	X	X ⁵		
Escorregamento	X	X	X ²		
Deformação					
Corrugação	X ⁵	X	X ⁵		
Afundamento de trilha de roda-superficial ³	X ⁵	X	X ⁵		
Afundamento de trilha de roda-profundo ⁴		X		X ⁶	X ^{6,7}
Trincas-associada ao carregamento					
Couro de jacaré		X		X	X
Longitudinal-trilha de roda		X	X ⁸	X	X
Borda do pavimento		X		X	X
Trincamento parabólico		X	X ⁹		
Trincas-não associadas ao carregamento					
Trincas de bloco		X		X	X
Trincas longitudinal-juntas		X	X ¹⁰		
Transversal (térmica)		X		X	X
Reflexão de trincas		X		X	X
Manutenção de remendo					
Spray		X ¹¹			X
Superfície		X ¹¹			X
Panelas-buraco		X			X
Profundo (mistura a quente)		X			X
Problemas Base/Sub base					X
Qualidade da pista de rolam./Aspereza					
Irregularidades gerais	X	X	X		
Depressões (assentamento)	X ¹²	X ¹²	X ¹²		X ¹³
Manchas (excessiva)	X ¹²	X ¹²	X ¹²		X ¹⁴

Fonte: Lima (2003)

(1) Pavimento no qual a mistura asfáltica é usada para todas as camadas acima do subleito, ou para melhorar a sub base com agentes modificadores.

(2) Aplicável se a espessura da superfície do revestimento não exceder 3,8 cm (1,5”).

(3) Deformação limitada à parte de cima da estrutura do pavimento 3,8 a 5,0 cm (1,5 a 2,0”).

(4) Deformação originada na porção mais baixa do pavimento (abaixo da camada de superfície e incluindo base e sub-base).

(5) Correção temporária, se a camada afetada não for tratada por adição de mistura asfáltica especial.

(6) A adição de novos materiais pode ser requerida para misturas instáveis.

(7) A estabilização química da subbase pode ser necessária se o solo for mole ou úmido.

(8) Aplicável se o trincamento for limitado à camada de superfície do pavimento.

(9) Aplicável se o tratamento for para uma profundidade abaixo da camada onde o trincamento em forma de lua estiver ocorrendo.

(10) Aplicável se o trincamento for limitado à camada de superfície do pavimento.

(11) Em algumas ocasiões o *spray* e o remendo de superfície podem ser removidos por fresagem antes deste tratamento (considerando alto teor de asfalto, exsudação).

(12) Pode ser somente uma correção temporária se o defeito relatado for um problema de sub base.

(13) Usado se as depressões são devidas às condições de solo mole ou úmido na sub base.

(14) Usado se as manchas são causadas por congelamento excessivo ou inchamento de solos expansivos na sub base.

1.10 BORRACHA DE PNEU MOÍDO



Figura 21 - Borracha de Pneu Moído.

Fonte: Foto do Autor (2011)

O aproveitamento de resíduos contribui para a redução de problemas ambientais antes sem soluções. Considerando o fato de que pneus provocam impactos ambientais na forma de disposição de suas carcaças em aterros sanitários e a tendência da população em abandoná-los em cursos de água, terrenos baldios e beiras de estradas, que agravam ainda mais o problema, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) no Brasil em sua Resolução 258/99, exige que os

fabricantes e importadores de pneumáticos colem e dêem um destino final ambientalmente correto a cinco pneus inservíveis para cada quatro novos fabricados comercializados no Brasil (apud SILVA, 2011).

Todo pneu, em algum momento, se transformará em um resíduo potencialmente danoso à saúde pública e ao meio ambiente. Para acabar com isto, uma solução ao seu destino final deverá ser adotada (BERTOLLO, et al., 2000).

A figura 22 apresenta a borracha de pneu moída



Figura 22 - Borracha de Pneu moído.

Fonte: SÍLEX (2010)

A recuperação de energia e a recauchutagem foram as primeiras formas de reciclagem de pneus. Com o avanço tecnológico, surgiram novas aplicações, como o asfalto ecológico, apontada hoje para o mundo como uma das soluções para o problema. O pó gerado pela recauchutagem e os restos de pneus moídos podem ser misturados ao asfalto aumentando sua elasticidade e durabilidade. (SILVA, 2011).

A mistura do asfalto com a borracha não é uma tecnologia nova, têm aproximadamente 40 anos de vida. O pneu é reciclado e triturado, dando origem à borracha granulada, sendo necessário haver a fusão entre os dois materiais, ou seja, dar origem a um terceiro produto, que não é nem o primeiro, nem o segundo, consistindo numa tecnologia altamente avançada, embora tenha 40 anos de idade. (SILVA, 2011).

Todo asfalto tem uma vida útil determinada. Uma estrada não é construída para durar 50 anos. Ela é feita para durar cerca de 10 anos, porque existe o processo natural de envelhecimento do ligante asfáltico, que é um produto perecível. Mas quando se funde a borracha com o asfalto, sua vida útil passa a ser de 25 a 30 anos. (SILVA, 2011).

Através desta técnica, além do aumento na durabilidade, o custo de pavimentação é diminuído e se reduz pela metade todos os processos e materiais utilizados, por isto há um ganho considerável nesta tecnologia ecologicamente correta.

Outro benefício trazido por este pavimento ecológico é a redução do nível de ruído provocado pelo tráfego, sem contar que o pavimento asfalto borracha quando molhado apresenta as mesmas condições para frenagem de um pavimento asfáltico convencional seco (SILVA, 2011).

Considerando todos estes benefícios econômicos e ecológicos para a redução do volume e para reutilização ou reciclagem, é necessário que fabricantes de pneus, órgãos reguladores e fiscalizadores, universidades e institutos de pesquisa trabalhem em parceria para então aplicarem a técnica com mais frequência, e com isto solucionar o gravíssimo problema que é a disposição final de pneus usados no Brasil e no mundo (SILVA, 2011).

Estudos realizados por Santos et al (2010) através de um levantamento do comportamento térmico, composição granulométrica e do teor de elastômero de uma amostra de borracha de pneu moído. Constatou-se resistência térmica da borracha e um teor de elastômero variando de 56 a 68%.

O CAP (Cimento Asfáltico de Petróleo) Brasileiro oriundo da Fazenda Alegre, Estado do Espírito Santo, foi modificado com 2, 5, 8, 12, 17 e 22% de BPM (borracha de pneu moído). O asfalto modificado apresentou menor penetração do que o CAP puro.

O asfalto puro e modificado foi envelhecido pelo sistema RTFOT (rolling thin film oven test). Foi observado o aparecimento de banda de C=O em consequência da oxidação. No asfalto modificado com 2 e 5% de borracha foi constatado um menor efeito oxidativo do que no asfalto puro, o que sugere maior resistência ao envelhecimento. Análise de viscosidade aparente mostrou que o asfalto puro tem comportamento newtoniano a partir de 150°C. O comportamento pseudoplástico do asfalto modificado aumenta com a concentração de borracha (Santos et al,2010).

Qual a forma mais econômica para conservar as rodovias e, ainda, reciclar toneladas de pneus usados por ano no país? As rachaduras e, posteriormente, os buracos nos pavimentos são os principais defeitos observados nas estradas de todo Brasil. (YUNES, 2011 apud Santos et al,2010).

“A inclusão da borracha na mistura modifica as características químicas e físicas do ligante. Essas alterações fazem com que o asfalto tenha maior resistência a fadiga e ao envelhecimento. Essas duas propriedades são primordiais para pavimentos mais duradouros” (MELLO, 2010 apud (Santos et al,2010).

Nos últimos quatro anos, o governo federal investiu anualmente R\$ 3,5 bilhões na conservação, restauração e manutenção rodoviária. Segundo o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), para 2011 estão previstos R\$ 5 bilhões. “Caso houvesse a adesão do asfalto borracha em rodovias ao longo do Brasil, aliado a uma boa pavimentação, certamente estaríamos com menos buracos e teríamos acréscimo de vida útil no pavimento”, garante Mello. A tecnologia faria com que os investimentos em programas de recuperação de estradas fossem menores, já que após cinco anos de uso, o asfalto borracha não apresenta fissuras, segundo o pesquisador. (YUNES, 2011).

Dados divulgados em 2010 pela Reciclanip - criada para atender ao Programa Nacional de Coleta e Destinação de Pneus Inservíveis – mostraram que a entidade coletou e destinou de forma ecologicamente correta 311, 5 mil toneladas de pneus que não seriam utilizados. Para Melo, que durante os testes do asfalto borracha utilizou 20 % de borracha moída de pneus usados, essa seria mais uma opção para os pneus inservíveis. “Seria essa uma das soluções para o destino de milhões de pneus usados, numa extensão de 1 km numa faixa de 3,5m de largura, pode-se usar até 625 pneus”. (YUNES, 2011).

Conforme Mello (2000) ainda não há no Brasil incentivo oficial para a incorporação da borracha na composição das misturas do asfalto. “Falta conhecimento da técnica e vontade administrativa para que projetistas, de obras de

construção de pistas nas ruas e estradas, comecem a usar esse processo no país”. (MELLO, 2010).

Questionada sobre os benefícios do asfalto borracha, o Laboratório de Asfalto do Instituto de Pesquisas Rodoviárias (IPR/DNIT), (NOGUEIRA, 2009 apud YUNES, 2011) em 2009 foi aprovada uma norma com configurações específicas para o uso do asfalto borracha nas obras de estradas.

“Desde 2003, conferimos os dados e elementos técnicos da aplicação do asfalto borracha em obras rodoviárias. Sabemos que a borracha adicionada no revestimento asfáltico aumenta a vida útil do pavimento. É uma tecnologia muito boa, que contribui para o meio ambiente e melhora as características do pavimento” (NOGUEIRA 2009 apud YUNES, 2011).

A autora arrisca um palpite para a falta da tecnologia nas estradas do Brasil. “Muitos projetistas fizeram o projeto antes da norma ser aprovada. Outro entrave é que precisa ter um controle tecnológico para realizar a mistura”. (YUNES, 2011).

Diversos países já utilizam o processo, em boa parte da malha rodoviária. São eles: Estados Unidos, África do Sul, China, Austrália, Suécia, Holanda, Espanha, França, Japão, Colômbia, Chile. No Brasil ainda não há projeto de lei tramitando no Congresso Nacional que obrigue a inclusão da borracha no cimento asfáltico. Existe apenas uma resolução do CONAMA (nº258/99) que determina que as empresas fabricantes e as importadoras de pneumáticos são obrigadas a coletar e dar um destino ambientalmente adequado aos pneus inservíveis. (YUNES, 2011).

Para Yunes, em 2001 foi aplicado o primeiro asfalto de borracha no Brasil.

O projeto foi realizado na rodovia BR 116, entre Guaíba e Camaquã, km 319, no Rio Grande do Sul. Dois anos depois, o asfalto borracha tornou-se objeto de pesquisa pela Área de Pesquisas e Testes de Pavimentos, na Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Os testes foram realizados em duas pistas experimentais, uma com asfalto comum, CAP 20 (Cimento Asfáltico de Petróleo), e outra com o asfalto borracha. Os cientistas submetem as pistas a uma carga de eixo de 10 toneladas e simularam 98 mil repetições nas pistas, depois dos testes, o asfalto comum estava completamente trincado, enquanto o asfalto borracha não sofreu nenhum dano. Só depois de submetido a 300 mil repetições, o trincamento

na pista com asfalto borracha foi apontado e com um grau de incidência muito baixo. (YUNES, 2011).

1.10.1 Caracterização dos materiais

A composição e o comportamento térmico da BPM foram determinados nos estudos realizados por Santos et al (2010).

O Gráfico 1 abaixo apresenta curvas de DTG de borracha de pneu de marcas conhecidas e desconhecidas. As curvas de marcas desconhecidas (d, e, f) foram obtidas a partir de amostras aleatórias de um único lote. Observa-se dois eventos nas curvas a, b, e e f, um relacionado à borracha natural, ocorrendo em $\approx 380^{\circ}\text{C}$ e outro atribuído à borracha sintética, situado entre 448 e 470°C (MAURER, 1981 apud Santos et al, 2010).

As curvas c e d apresentam um único evento, em 460°C (borracha sintética) e em 380°C (borracha natural) (Santos et al, 2010).

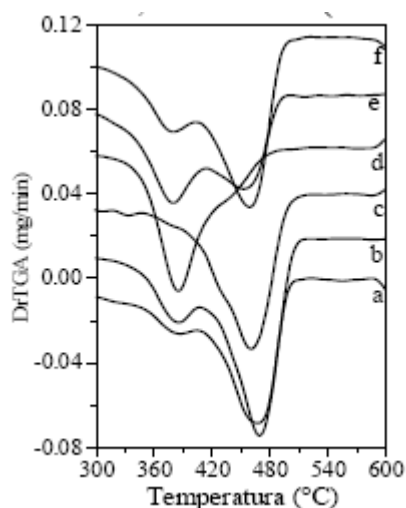


Gráfico 1 - Análises térmicas de pneus: Pirelli (a), Michelin (b), Goodyear (c) e de marcas desconhecidas (d, e, f).

Fonte: Santos et al., 2010.

De acordo com as curvas de TGA apresentadas no Gráfico 1, verifica-se diferentes tipos e concentração de polímeros na BPM. As concentrações de borracha foram obtidas a partir da intensidade do evento verificado em cada amostra. Foi constatado um teor de elastômero na BPM variando de 56 a

68%. A concentração de BN varia de 22 a 39% e de borracha sintética de 22 a 44%. (Santos et al, 2010).

A tabela 2 apresenta valores da composição granulométrica e do comportamento térmico da BPM. A amostra foi escolhida aleatoriamente e retrata uma situação específica, já que não existe uma seletividade de tipos e marcas de pneus por parte das empresas renovadoras de pneus no descarte deste resíduo. (Santos et al, 2010).

A Tabela 2 demonstra o perfil granulométrico e comportamento térmico da BPM.

Tabela 2 – Perfil granulométrico e comportamento térmico da BPM

Granulometria (mesh)	Composição granulométrica (%)	Resíduo em 600°C (%)	Início da decomposição (°C)
4	91	36	194
9	70	37	182
12	59	37	178
16	44	38	193
30	22	37	187
40	12	36	172
80	1,29	37	153
200	0,60	44	95

Fonte: Santos et al, 2010.

Constata-se estabilidade térmica em partículas maiores que 80 mesh, com início de decomposição em 172°C. Grãos passáveis em 200 mesh iniciam perda de massa em 95°C, temperatura abaixo de 170°C, na qual se obteve a mistura. Observa-se, em 600°C, um percentual médio de resíduo de matéria inorgânica na BPM de 38% (Santos et al, 2010).

O CAP em estudo é classificado por penetração, sendo designado CAP 50/60. O CAP apresenta considerável estabilidade térmica, com início de decomposição em 230°C e teor de resíduo de 17% em 600°C.

O gráfico 2 mostra o espectro de infravermelho (IV) do CAP, através do qual pode-se identificar principalmente as bandas relativas a hidrocarbonetos (Santos et al, 2010).

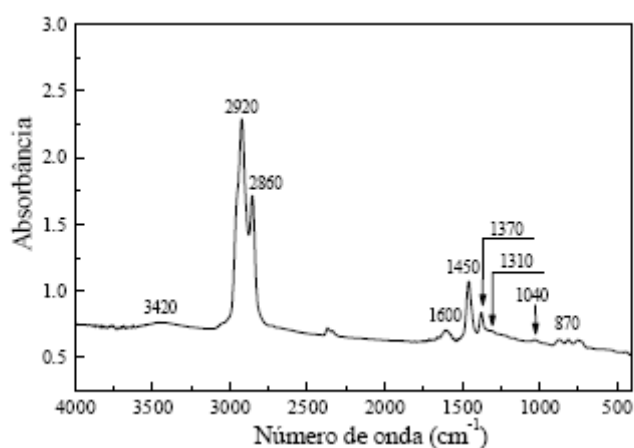


Gráfico 2 - Infravermelho do CAP da Fazenda Alegre.

Fonte: Santos et al, 2010

A tabela 3 contém a lista de atribuições dos estiramentos observados no espectro de infravermelho do asfalto.

Tabela 3 - Lista de atribuições para os estiramentos presentes no espectro de IV do asfalto

Número de onda (cm ⁻¹)								
750 a 870	1040	1310	1375	1450	1600	2860	2920	3420
γCH_2	$\nu\text{S}=\text{O}$	νSO_2	$\delta_s\text{CH}_3$	$\delta_{as}\text{CH}_3, \text{CH}_2$	$\nu\text{C}=\text{C}$	$\nu_s\text{CH}_3, \text{CH}_2$	$\nu_{as}\text{CH}_3, \text{CH}_2$	νOH ou νNH

Fonte Lamontagne et al, 2001 (apud Santos et al, 2010).

Foi feito um levantamento do comportamento reológico do CAP da Fazenda Alegre por meio da análise da viscosidade aparente. De acordo com Gráfico 3, observa-se que o CAP é fluido newtoniano acima de 150°C.

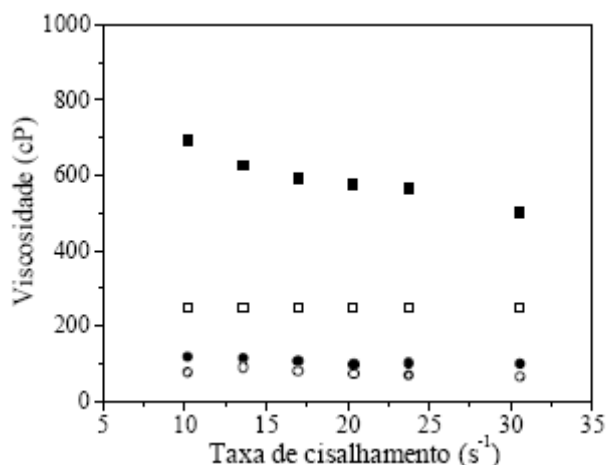


Gráfico 3 - Gráfico da viscosidade aparente em função da taxa de cisalhamento para o CAP. Temperaturas: 135 °C (■); 150 °C (□); 175 °C (●); 190 °C (○).

Fonte: Santos et al, 2010

1.10.2 Caracterização do asfalto modificado

O gráfico 4 apresenta resultados dos ensaios de penetração, ponto de amolecimento e resiliência para o CAP e para a mistura CAP/BPM. Observa-se uma diminuição na penetração nas misturas com até 17% de BPM e aumento no ponto de amolecimento e na resiliência. A BPM em presença do CAP incha devido à migração das frações aromática e saturada do asfalto para a borracha (Holleran e Reed, 2000 apud Santos et al, 2010) resultando no endurecimento do produto CAP/BPM em função do aumento da fração asfáltica (pesada) como observado nos gráficos 4. Outro fator que contribui para a diminuição da penetração e o aumento do ponto de amolecimento são as cargas (negro de fumo) presentes nas formulações dos pneus. O aumento da resiliência se deve principalmente a elastômeros da BPM. (Santos et Al., 2010). (Santos et al, 2010).

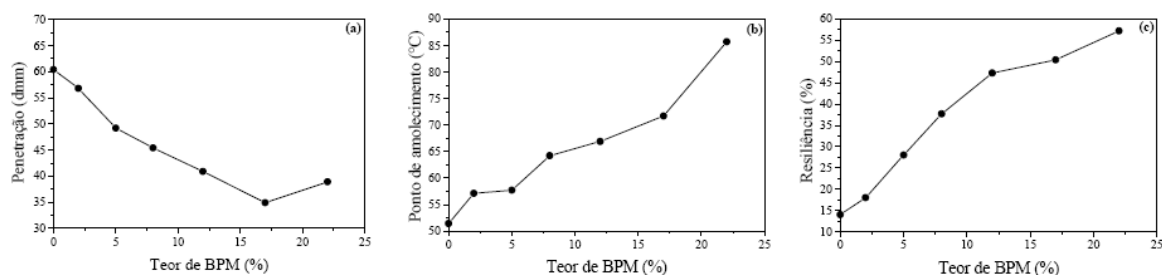


Gráfico 4 - Resultados dos ensaios de penetração (a), ponto de amolecimento (b) e resiliência (c) para o CAP e CAP/BPM. (Santos et al, 2010).

O gráfico 5 apresenta o estudo reológico dos produtos CAP/BPM em várias temperaturas. Observa-se aumento generalizado da viscosidade com a concentração de BPM e com o inverso da temperatura. Verifica-se também que todas as formulações apresentam características pseudoplásticas em 135°C. Em 150°C a pseudoplasticidade é evidente em formulações contendo 8% ou mais de BPM. CAP/BPM com 17 e 22% é pseudoplástico em todas as temperaturas (Santos et Al., 2010).

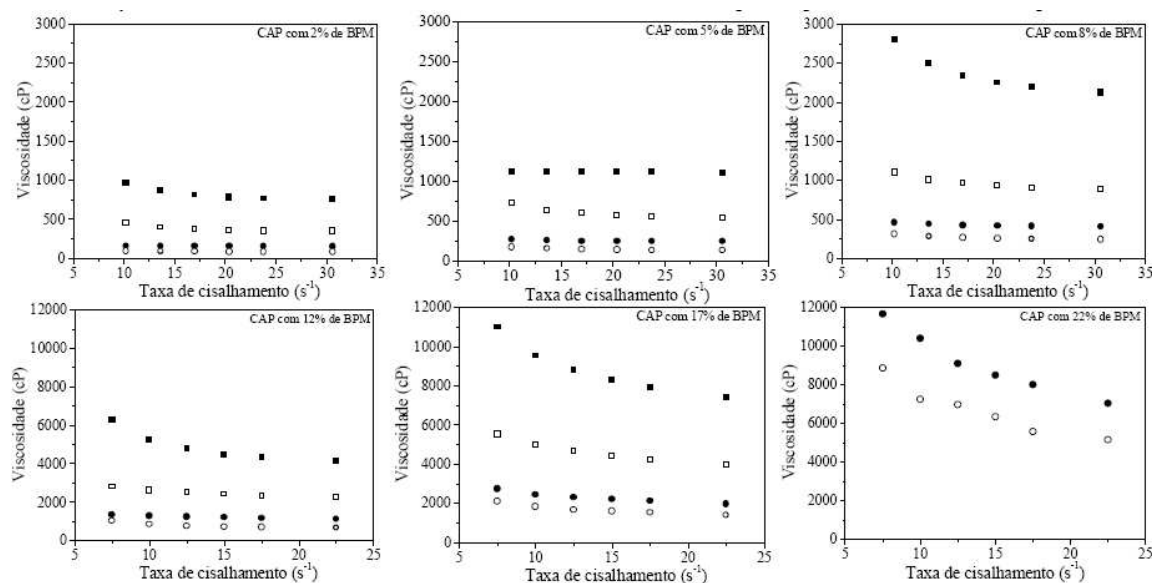


Gráfico 5 - Gráficos da viscosidade em função da taxa de cisalhamento para CAP/BPM (2 a 22% de BPM) Temperaturas: 135 °C (■); 150 °C (□); 175 °C (●); 190 °C (○). (Santos et al, 2010).

O envelhecimento do CAP puro e modificado pela adição de 2, 5, 8 e 12% de BPM, foi estudado por infravermelho (IV). O envelhecimento foi simulado em sistema RTFOT (rolling thin film oven test) nas condições de oxidação e perda de massa semelhante a usinagem. A ilustração acima apresenta os espectros de IV. A banda em 1600 cm^{-1} de $\nu\text{C}=\text{C}$ é tomada como referência para as variações ocorridas em 1650 cm^{-1} , 1700 cm^{-1} e 1740 cm^{-1} , todas referentes à $\nu\text{C}=\text{O}$. CAP puro (a); CAP puro oxidado (b); CAP com 12% de

BPM (c); CAP/BPM oxidado: 2% (d), 5% (e), 8% (f) e 12% (g) de BPM (Santos et Al., 2010).

Santos et al (2010) observou que:

[...] o aparecimento de ombro em 1700 e 1650 cm^{-1} em **b** quando comparado com **a**, devido a oxidação do CAP. Pelo espectro **c** conclui-se que o processo de mistura em baixa cura não causou oxidação de CAP/BPM com 12% de BPM, porque o espectro não apresenta bandas C=O. Verifica-se o crescimento da banda em 1700 cm^{-1} na seqüência **d**, **e** e **f** devido a oxidação do CAP na mistura CAP/BPM. De fato existe uma maior exposição da fração asfáltica, rica em C=C. O mesmo é verificado para a banda em 1650 cm^{-1} na seqüência **d**, **e**, **f** e **g**. Uma banda em 1740 cm^{-1} se manifesta com maior intensidade em **g** (12% de BPM), embora esteja presente em **e** e **f**. Provavelmente a oxidação da BPM seja responsável por este estiramento, uma vez que ele não aparece em **b** (CAP puro oxidado). Comparando **c** e **g** (CAP/BPM 12% não oxidado e oxidado) conclui-se que o CAP e a BPM sofrem simultaneamente os efeitos da oxidação (Santos et Al., 2010).

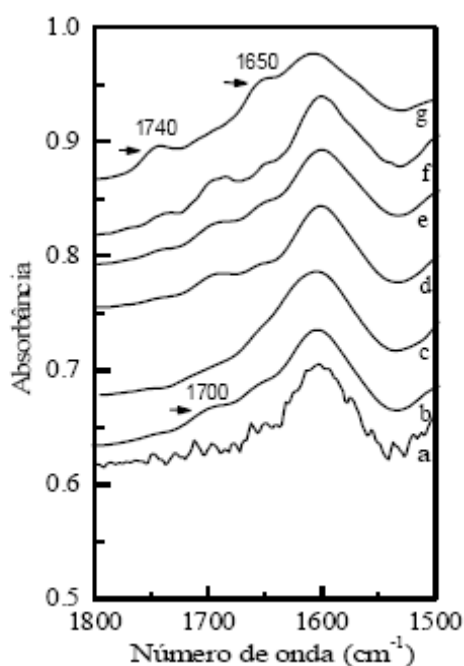


Gráfico 6 - Espectros de infravermelho. CAP (a), CAP oxidado (b), CAP/BPM com 12% (c): CAP/BPM oxidado: com 2% (d), 5% (e), 8% (f) e 12% (g) de BPM. (Santos et al, 2010).

O crescimento das bandas de C=O com o teor de BPM observado nos espectros da Gráfico 6 sugere que o produtos com 2 e 5% de BPM sofreram menos os efeitos da oxidação do que os produtos com 8 e 12%. Nos dois primeiros casos,

a oxidação se deu principalmente no CAP, enquanto que nos últimos, tanto o CAP quanto a BPM foram oxidados (Santos et Al., 2010).

Santos et al. (2010) concluíram que

a BPM apresenta 60% de elastômeros. Grânulos de BPM menores que 200 mesh iniciam perda de massa em 95°C. O produto CAP/BPM apresenta diminuição penetração e aumento no ponto de amolecimento, na resiliência e na viscosidade com o teor de BPM. O produto CAP/BPM com 2 e 5% de BPM se mostrou mais resistente à oxidação do que CAP/BPM com 8 e 12% de BPM. O CAP puro é fluido newtoniano a partir de 150°C, enquanto no produto CAP/BPM o comportamento pseudo-plástico aumenta com o teor de BPM e com o inverso da temperatura.

Em outro estudo realizado por Oda et al. (2005), 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 estado, sem nenhuma deformação permanente, exceto nos locais onde os defeitos em excesso do revestimento antigo refletiram no novo. (ODA et al., 2005).

Como resultados obtidos, Oda et al. (2005) 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). (ODA et al., 2005).

Os autores entenderam que:

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 microtexturas, 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 à 0,22 na trilha de roda e 0,22 à 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 à 7800×10^{-5} cm/s, valores estes compatíveis para revestimentos deste tipo. (ODA et al., 2005).

Dessa forma, os autores fizeram 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. (ODA et al., 2005).

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 estado, 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. (ODA et al., 2005).

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. (ODA et al., 2005).

1.11 RIO DE JANEIRO VAI UTILIZAR ASFALTO BORRACHA

O governo do Rio de Janeiro, assinou em 19 de julho de 2011 decreto que estabelece a utilização de asfalto-borracha na pavimentação das rodovias do Estado. O material é baseado na reciclagem de pneus sem uso. (R7.COM, 2011)

De acordo com o documento, a borracha terá de representar ao menos 15% da mistura para asfalto. Em março de 2011, o governo conseguiu a liberação de R\$ 1 bilhão com o BID (Banco Interamericano de Desenvolvimento) para colocar em prática o projeto do asfalto-borracha. (R7.COM, 2011)

A tecnologia do asfalto-borracha, que o Departamento de Estradas de Rodagem do Estado do Rio de Janeiro (DER-RJ) está aplicando em um projeto piloto na RJ-122, é uma novidade parcial, porque a mistura de asfalto com pó de pneu moído já é feita e comercializada há cerca de oito anos por várias empresas no Brasil. (GANDRA, 2011).



Figura 23 – Rodovia RJ 122 Obra de restauração executada com Asfalto Borracha.

Fonte: Foto do Autor (2011)



Figura 24 – Asfalto borracha

Fonte: Yunes (2000)

A informação foi dada à Agência Brasil pela coordenação de Misturas Asfálticas do Laboratório de Geotecnia da Coordenação de Programas de Pós-Graduação de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (Coppe/UFRJ), (GANDRA, 2011).

A diferença é que a tecnologia adotada pelo DER processa a mistura na hora da própria aplicação do produto na pista, enquanto as outras misturas são feitas previamente. "Há mais de 8 mil quilômetros aplicados no Brasil, utilizando a mistura prévia" (GANDRA, 2011).



Figura 25 – Rodovia RJ 122 Asfalto Borracha - obra concluída.

Fonte: Foto do Autor (2011)

De acordo com a Coppe, o asfalto-borracha é uma tecnologia boa, já usada com sucesso em outros países. O consumo de pneus inservíveis para a obtenção do pó de borracha é uma das vantagens, porque “vai melhorar o meio ambiente e também o asfalto”. (GANDRA, 2011).

Entretanto, com a redução da espessura do asfalto para compensar o custo da adição de pó de pneu à mistura, o DER estima que o custo do asfalto-borracha é até 40% mais baixo porque as dimensões do pavimento asfáltico são menores.



Figura 26 – Rodovia RJ 122 Asfalto Borracha - obra concluída.

Fonte: Foto do Autor (2011)

“No meu ponto de vista, isso não é correto. A gente tem que lutar para fazer pavimentos duráveis e não ficar diminuindo a espessura para ter o mesmo tempo de vida curto que outros (asfaltos) têm. Tecnicamente, o que a gente tem que buscar é maior durabilidade e não diminuir a espessura”, (MOTTA, 2011 apud GANDRA, 2011)

Eventualmente, se pode reduzir a espessura do asfalto, mas não em qualquer situação cair à metade. Isso não tem justificativa técnica. A compensação de valor não pode ser feita diminuindo a espessura do asfalto. (GANDRA, 2011).



Figura 27 – Rodovia RJ 122 executada com Asfalto borracha

Fonte: Foto do Autor (2011)

De acordo com a COPPE, o emprego do asfalto-borracha é justificável, “mas não em todas as obras”. Dependendo das condições, ele pode aumentar a vida útil do pavimento, mas também há casos de insucesso. (GANDRA, 2011).

A Coppe já fez pesquisas para uso de garrafas PET em misturas de asfalto, considerando o resultado como “promissor”. Outros resíduos industriais podem ser usados para melhorar e baratear o pavimento, não só na capa de asfalto, mas também na base. Entre eles, ela citou entulhos de obras (resíduos de construção e de demolição), cinzas de carvão e de queima de lixo e escória de aciaria. Também podem ser adicionados ao asfalto, com vantagens, as argilas e solos especiais. (GANDRA, 2011).



Figura 28 – Dr Salomão Pinto, Dr. Luiz Felipe, Dr. Hélio Farah.

Fonte: Foto do Autor (2010)

CONCLUSÃO

As milhares de toneladas de pneus inservíveis (PI), acumuladas por ano, indica um grave problema ambiental. Uma solução para este problema poderia ser a usinas de reciclagem, mas uma vez que sejam reciclados, indaga-se qual o seu fim.

A solução é adicionar o pó de borracha obtida a partir de pneus reciclados na mistura de asfalto. Um processo aparentemente simples. Através desta combinação de materiais, estradas e rodovias, bem como ecológico, é mais forte, mais seguro e menos dispendioso.

As misturas são menos suscetíveis a altas e baixas temperaturas e se deterioram menos do que as estradas convencionais. Embora existam poucas estradas construídas de acordo com este método, esta técnica não é nova para o mundo científico.

Outra vantagem deste procedimento, que envolve a adição de 0,5 por cento e 2,0 por cento de pó de borracha reciclada, é que não se necessitam de novas máquinas ou equipamentos. O uso seria um pneu para cada sete metros quadrados de estrada, onde as empresas poderiam usar sua infra-estrutura existente para pavimentar as estradas com o material modificado, de modo que não haveria razão para aumento de custos e de pedágios.

O uso de pó de borracha nas estradas é uma economia de longo prazo ao se alongar sua vida útil, devido ao aumento da resistência fornecida pelo asfalto modificado.

O emprego de borracha procedente de pneus fora de uso permite melhorar as qualidades reológicas com respeito ao betume de partida. Com o emprego de betumes modificados com borracha incrementa-se significativamente a durabilidade da rodovia com respeito ao uso de betumes convencionais, o que implica uma importante economia a médio-longo prazo.

Devido à incompatibilidade inicial do pó de pneu com os betumes, foi necessário utilizar betumes específicos e alguns compatibilizantes químicos. Isto motivou o desenvolvimento de um processo específico de fabricação que permitiu obter uns produtos estáveis ao armazenamento, em uma ampla categoria de especificações.

Estes betumes, além das vantagens técnicas mencionadas contribuem importantes vantagens para o meio ambiente, por um lado colaboram na eliminação de pneus fora de uso em aterros e por outro, minimizam o impacto acústico ao reduzir os níveis de ruído durante a rodagem dos veículos, aspecto que tem especial relevância em vias urbanas.

Os betumes modificados com borracha podem ser empregados para as mesmas aplicações dos betumes modificados com polímeros, destacando: camadas de rodagem, camadas finas descontínuas e misturas drenantes com propriedades melhoradas de fadiga e deformações plásticas.

Da investigação realizada e as experiências de transferências pode se concluir que:

- É possível utilizar em nosso país borrachas provenientes de pneus onde os mesmos são obtidos por dois processos básicos de criogenese e de moinhos.

- Seu uso é possível em asfaltos e tem que ser utilizados em misturas descontínuas a quente, já que obteve-se um asfalto com baixa suscetibilidade térmica e propriedades visco elásticas conformes às exigíveis para este tipo de misturas.

- Para fortes adições, segundo os materiais utilizados nas experiências pesquisadas, podem ser obtidas misturas que cumprem as exigências dos seladores asfálticos, ainda com trituração por moinho como processo de obtenção da borracha reciclada.

- Os processos desenvolvidos em laboratório são facilmente adaptáveis a plantas asfálticas ou qualquer tipo de planta de produção de produtos asfálticos.

De acordo ao exposto podem ser obtidos ótimos resultados na política de reciclagem, tais como redução de resíduo, menor custo de tratamento e benefício sobre o produto conseguido quanto a sua melhora técnica.

- O Brasil está em condições de tentar a obrigação de uso de borracha reciclada em produtos afins à construção.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABLP Associação Brasileira de Resíduos Sólidos e Limpeza Pública. Disponível em <http://www.ablp.org.br/conteudo/conteudo.php?cod=44#>. Acesso em 25 mai. 2011.

ALEGRIA, Manuela. Benefício do asfalto-borracha. (2008). Disponível em <http://www.revistameioambiente.com.br>. Acesso em 16 abr. 2011.

ANDRIETTA, A. J. Pneus e meio ambiente: um grande problema requer uma grande solução. Out. 2002. Disponível em: <http://www.reciclarepreciso.hpg.ig.com.br/recipneus.htm>. Acesso: 18 jun. 2011.

BAUM, Vicki. A árvore que chora. Rio de Janeiro: Livraria do Globo, 1946.

BERNUCCI, L.B. et al. Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros. Rio de Janeiro: PETROBRÁS: ABEDA, 2006. 504 f. Disponível em: http://www.proasfalto.com.br/07_download.htm. Acesso em: 2 jun. 2011.

BERNUCCI, Liedi Légi Bariani; BERTOLLO, Sandra Aparecida Margarido; FERNANDES JÚNIOR, José Leomar; LEITE, Leni Mathias. Mechanical properties of asphalt mixtures using recycled tire rubber produced in Brazil: a laboratory evaluation. In: ANNUAL MEETING OF THE TRANSPORTATION RESEARCH BOARD., Washington, 2004. Washington : TRB, 2004. Disponível em <http://dedalus.usp.br:4500/ALEPH/POR/USP/USP/PROD/FULL/1383556>. Acesso em 01 jun. 2011.

BERTOLLO, S.A.M; JÚNIOR, J.K.F; VILLAVARDE, R.B; FILHO, D.M. Pavimentação asfáltica: uma alternativa para a reutilização de pneus usados. Revista Limpeza Pública n.54. Associação Brasileira de Limpeza Pública ? ABPL, 2000.

BRASIL. Lei Nº 12.305, DE 2 DE AGOSTO DE 2010 que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Disponível em http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm. Acesso em 15 mai 2011.

BRASIL. Portal da Saúde. Dengue. Informações gerais. Disponível em http://portal.saude.gov.br/portal/saude/profissional/area.cfm?id_area=1525. Acesso em 20 mai 2011.

BRASIL. Secretaria Especial de Desenvolvimento Urbano. Manual de Gerenciamento Integrado de resíduos sólidos / José Henrique Penido Monteiro ...[et

al.]; coordenação técnica Victor Zular Zveibil. Rio de Janeiro: IBAM, 2001. Disponível em <http://www.resol.com.br/cartilha4/manual.pdf>. Acesso em 10 out. 2011.

CARVALHO, Juliana de Carvalho. Pneus. Ficha Técnica. Disponível em <http://www.reciclagem.pcc.usp.br/pneus.htm>. Acesso em 30 mai. 2011.

CAWELL, Cris. 50 Pequenas coisas que você pode fazer para salvar a Terra. São Paulo: Best Seller, 2005. Disponível em <http://pt.scribd.com/doc/56615814/50pequenas-Coisas-Para-Salvar-a-Terra>. Acesso em 10 mai. 2011.

COCAMAR COOPERATIVA AGROINDUSTRIAL - Disponível em: <<http://www.cocamar.com.br>>, acesso em: 15 jun. 2011.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução CONAMA 258/99, de 26/08/1999.. Disponível em:www.mma.gov.br/port/conama . Acesso em 05 jun. 2011.

DI GIULIO, Gabriela. Vantagens ambientais e econômicas no uso de borracha em asfalto. Inovação Uniemp, Campinas, v. 3, n. 3, jun. 2007 . Disponível em: <http://inovacao.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1808-23942007000300008&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em: 27 jul. 2011.

EDEL, G. Pneus inservíveis e asfalto: União que beneficia estradas e o meio ambiente. In: Anais do Simpósio sobre obras rodoviárias RODO, 2 - ABGE, p.105, São Paulo, setembro ,2002.

ESTAKHRI, C. K.; JOE, BUTTON, W. & FERNANDO, E. G. - " Use, Availability, and Cost-Effectiveness of Asphalt Rubber in Texas" , Transportation Research Record: Washington (1992).

EURLEX. Directiva 91/156/CEE do Conselho de 18 de Março de 1991 que altera a Directiva 75/442/CEE relativa aos resíduos. Jornal Oficial nº L 078 de 26/03/1991 p. 0032 - 0037. (tradução livre). Disponível em <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:31991L0156:PT:HTML>. Acesso em 09 out. 2011.

FERREIRA, Aurélio B. de Hollanda. Novo Dicionário da Língua Portuguesa. 2. ed. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 2010.

FHWA. Crumb Rubber Modifier - Design Procedures and Construction Practices. Workshop Notes. U.S. Department of Transportation. Federal Highway Administration. Publication n. FHWA-AS-93-011. (1993)

FONTES L. P. T. ; TRICHÊS G. ;PERREIR P. A. A.; PAIS J. - 38a Reunião Anual de Pavimentação 12o Encontro Nacional de Conservação Rodoviária 38a RAPv / 12o ENACOR. Manaus, 2007. .

FOSS, Bradley. Reciclagem de pneus vira boa fonte de renda. In: AE/Associated Press. Disponível em JC ON LINE. <http://www2.uol.com.br/>. Acesso em 25 mai. 2011.

GANDRA, Alana. Uso do asfalto-borracha deve buscar a durabilidade e não reduzir a espessura, diz especialista. In: Agencia Brasil. Publicado em 05/04/2011 - 16h53. disponível em <http://agenciabrasil.ebc.com.br/>. Acesso em 24 jul. 2011.

GOMES, Manuel Morato. Borracha Natural. Disponível em <http://www.rubberpedia.com/borrachas/borracha-natural.php>. Acesso em 08 out. 2011.

GONTIJO, Paulo. Onde está o asfalto borracha brasileiro? Disponível em: www.radiobras.gov.br/ct. Acesso em 15 jul. 2011.

HOFMANN W. , Rubber Technology Handbook, Hanser, New York, 1989.

IZIDORO, Natalia. Asfalto com borracha de pneu dura 30% mais que asfalto comum. Disponível em <http://tiagoquick.blogspot.com/2010/10/meio-ambiente-asfalto-com-borracha-de.html>. Acesso em 10 out. 2011.

IZIDORO, Natalia. Asfalto com borracha de pneu dura 30% mais que asfalto comum. Publicado em 15/06/2010. Disponível em <http://www.inovacaotecnologica.com.br>. Acesso em 20 jul. 2011.

JIANG, Yun-Zhi. O estado e o desenvolvimento da reciclagem tire resources na China. Chinaire reciclagem de recursos; 2005. [na China] (Tradução livre)

LAGARINHOS, Carlos Alberto F. and TENORIO, Jorge Alberto S.. Tecnologias utilizadas para a reutilização, reciclagem e valorização energética de pneus no Brasil. Polímeros [online]. 2008, vol.18, n.2, pp. 106-118. ISSN 0104-1428. <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-14282008000200007>.

LAGARINHOS, Carlos Alberto F.; TENORIO, Jorge Alberto S.. Tecnologias utilizadas para a reutilização, reciclagem e valorização energética de pneus no Brasil. Polímeros, São Carlos, v. 18, n. 2, June 2008 . Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-14282008000200007&lng=en&nrm=iso>. Acesso em 27 July 2011. doi: 10.1590/S0104-14282008000200007.

LIMA, André Theophilo. Caracterização Mecânica de Misturas Asfálticas Recicladas a Quente. Fortaleza, 2003. XII, 99 fl., Dissertação (mestrado em Engenharia de Transportes) - Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes, Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2003.

MENDINA, Andrea Allende. Aplicação da mecânica de pavimentos na análise de fadiga das misturas asfálticas com adição de borracha. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria: 10 de Abril de 2009.

MONTENEGRO, Ricardo Sá Peixoto; PAN, Simon Shi Koo. Panorama do setor de borrachas. Disponível em http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/bnset/borrach2.pdf. Acesso em 09 out. 2011.

MUNDO DAS TRIBOS. Promoção de pneus Goodyear. Disponível em <http://www.mundodastribos.com/promocao-de-pneus-goodyear.html>. Acesso em 08 out. 2011.

NAGDI, KHAIRI, Manuale della Gomma, Tecniche Nuove, 1987.

NOGUEIRA, Denio; TORRES, Jose Garrido. Empreendimentos de capitais mistos internacionais no Brasil. Estudo de países n. 11. Nova Iorque: Columbia University, 1959. (Tradução livre).

ODA, Sandra; FERNANDES JUNIOR, José Leomar. Borracha de pneus como modificador de cimentos asfálticos para uso em obras de pavimentação. Acta Scientiarum Maringá, v. 23, n. 6, p. 1589-1599, 2001. Disponível em <http://www.periodicos.uem.br>. Acesso em 20 jun. 2011.

ODA, Sandra; NASCIMENTO, Luis Alberto Herrmann; EDEL, Guilherme. Aplicação de asfalto-borracha na Bahia. Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás - IBP . 3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás. 2 a 5 de outubro de 2005. Salvador, BA. Disponível em <http://www.portalabpg.org.br>. Acesso em 10 jun. 2011.

ORSI, A; SIMON, C. L. Uma Alternativa Ambiental para Pneus em Desuso. 2006. Disponível em: < <http://www6.ufrgs.br/ensinodareportagem/meiob/asfaltob.html> > Acesso em :12 de mai. 2011.

PAGE, G.C. et al. Florida's approach using ground tire rubber in asphalt concrete mixtures. Transp. Res. Rec., Washington, D.C., n.1339 p.16-22, 1992.

PAULA, P. R. Responsabilidade ambiental no Brasil: o destino final que é dado aos pneus usados. São Paulo: Uninove, 2004 (Monografia de conclusão de curso de graduação em administração).

PETROBRAS. Asfalto Borracha. Disponível em <http://www.br.com.br>. Acesso em 10 abr. 2011.

R7.COM. Rodovias do Rio serão pavimentadas com asfalto-borracha. Publicado em 19/07/2011 às 22h32. Disponível em <http://noticias.r7.com/>. Acesso em 20 jul. 2011.

ROBERTS, F.L.; KANDHAL, P.S; BROWN, R.E.; LEE, D. e KENNED, Y. T. W. (1996). Hot Mix Asphalt Materials, Mixture Design, and Construction. NAPA, Maryland, USA. (tradução livre)

RUTH B.E. et al. Recycling of asphalt mixtures containing crumb rubber. Final Report. FL/DOT/MO D510717. Florida: University of Florida. Florida Department of Transportation, 1997.

SANTOS, Expedito F; FEITOSA, Judith P. A.; SOARES, Jorge B.; LEITE, Leni F. M. Caracterização de borracha de pneu moído e de asfalto modificado oriundo de petróleo brasileiro. Universidade Federal do Ceará,. Centro de Pesquisa da Petrobrás - CENPES. Disponível em <http://www.redeasfalto.org.br>. Acesso em 15 jun. 2011.

SEGRE, Nadia Cristina. Reutilização de borracha de pneus usados como adição em pasta de cimento. Tese (doutorado). Campinas, 1999. Universidade Estadual de Campinas-SP.

SILVA, João Paulo Souza Silva. Asfalto borracha: a alternativa ecológica para reutilização de pneus usados. Disponível em <http://noticias.universia.com.br/destaque/noticia/2006/01/09/452264/sfalto-borracha-alternativa-ecologica-reutilizao-pneus-usados.html>. Acesso em 10 out. 2011.

SILVA, João Paulo Souza. Asfalto borracha: a alternativa ecológica para reutilização de pneus usados. Disponível em <http://www.apagina.pt/>. Acesso em 20 jul. 2011.

YUNES, Bruna. Asfalto borracha aumenta durabilidade de estradas e é destino para pneus velhos. Publicado em 3 de março de 2011. Agência T1. Disponível em <http://www.agenciat1.com.br/>. Acesso em 24 jul. 2011.