

UMA ANÁLISE DO ASFALTO CONVENCIONAL E DO ASFALTO ECOLÓGICO

*Ernani José Antunes**

RESUMO: O presente artigo visa contribuir para uma melhor compreensão do uso do resíduo da borracha de pneus como insumo de pavimentação, uma forma encontrada para amenizar o impacto causado pelos resíduos provenientes do descarte do pneu foi à utilização das metodologias de reciclagem e reaproveitamento, contribuindo para um melhor desempenho do asfalto convencional, além de dar uma destinação ambientalmente adequada aos pneus inservíveis. A importância desta revisão de literatura se dá pelo fato de que ao mesmo tempo em que se têm prejuízos econômicos, sociais e ambientais com relação aos resíduos sólidos, pode-se ter boas perspectivas quanto à redução na origem, ao reuso e à reciclagem, por minimizar as perdas e conseqüentemente, diminuir a quantidade de resíduos a serem dispostos

PALAVRAS-CHAVE: Resíduo. Pneus. Prejuízos econômicos. Asfalto.

1. INTRODUÇÃO

O asfalto é considerado um dos mais antigos materiais utilizados em construções pelo homem, seu uso para pavimentar é um dos mais usuais e um dos mais antigos também. Em todo mundo a pavimentação asfáltica é a principal forma de revestimento; no Brasil, por exemplo, temos cerca de 95% das estradas pavimentadas revestidas de asfalto, em ruas também utiliza-se bastante esse revestimento.

*Coronel do Exército Brasileiro. Doutor em Engenharia de Transportes-COPPE/UFRJ, Mestre matemática pelo IMPA, Professor de EF/EM do Colégio Militar do Rio de Janeiro (CMRJ).
E-mail: erna70@ig.com.br.

Os motivos são variados para essa utilização expressiva do asfalto em pavimentações, sendo entre esses: agir como um material ligante que possui flexibilidade controlável possibilita uma forte união dos agregados, tem a característica impermeabilizante, sua resistência e durabilidade a ações de grande parte das substâncias químicas, podendo ser utilizado de forma emulsionada ou aquecida, possuindo ou não aditivos em sua composição.

O asfalto que utilizamos para pavimentação é um ligante betuminoso que é originário do processo de destilação do petróleo e possui propriedades termoviscoplasticas, ou seja, é impermeável à água e pouco reativo. Apesar dessa baixa reatividade química, não se pode evitar que esse material sofra um envelhecimento por oxidação pelo contato com o ar e a água.

O transporte rodoviário é o principal meio de transporte no Brasil, possuindo uma grande importância no crescimento do país, no despacho de produtos. Em contrapartida as estradas se encontram de maneira irregular, impossibilitando um tráfego seguro, além de que o crescimento da frota de automóveis nos últimos anos tem ocorrido de forma descontrolada. Dentre as diversas consequências negativas deste crescimento, destacam-se duas: o desgaste elevado da pavimentação asfáltica de baixa qualidade e a degradação do meio ambiente no qual vivemos através da dificuldade de serem eliminados.

Desta maneira, a indústria de asfalto vem buscando novos materiais e tecnologias asfálticas a fim de manter o sistema funcionando, assim como desenvolver novas soluções para o melhoramento e manutenção dos pavimentos.

Assim, apresenta-se o asfalto ecológico: resultado de um processo que utiliza pneus inservíveis retirados do meio ambiente e empregado na confecção do concreto asfáltico.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Tipos de Pavimentos

O pavimento é uma estrutura de múltiplas camadas de espessuras finitas, construída sobre a superfície final de terraplenagem, destinada, técnica e

economicamente a resistir aos esforços oriundos do tráfego de veículos e do clima, e a propiciar aos usuários melhoria nas condições de rolamento, com conforto, economia e segurança.

Pode-se afirmar que em obras de engenharia de transportes rodoviários, como construções de rodovias, aeroportos, ruas, entre outras, a superestrutura é constituída por um sistema de camadas de espessuras finitas, assentadas sobre o terreno de fundação, considerado um semi-espaço infinito e designado subleito, sendo esta superestrutura o pavimento.

As principais funções de um pavimento, segundo a NBR-7207 (ABNT, 1992) são:

- Resistir e distribuir ao subleito os esforços verticais provenientes do tráfego;
- Melhorar as condições de rolamento quanto à comodidade e segurança;
- Resistir aos esforços horizontais tornando mais durável possível a superfície de rolamento.
- Os pavimentos são classificados devido à sua estrutura em:
 - Pavimentos Rígidos;
 - Pavimentos Semirrígidos; e
 - Pavimentos Flexíveis.

De modo geral, os pavimentos mais utilizados são os pavimentos rígidos e pavimentos flexíveis, conforme quadro 1:

Quadro 1: Terminologia das bases

Bases	Rígidas	Concreto de Cimento	
		Macadame de Cimento	
		Solo-cimento	
	Flexíveis	Solo estabilizado	Granulometricamente
			Solo-betume - Solo-cal
			Solo-brita
Macadame hidráulico			

Continua...

continuação

Bases	Flexíveis	Brita graduada com ou sem cimento	
		Macadame betuminoso	
		Por Aproveitamento	Alvenaria poliédrica
			Paralelepípedos

2.1.1. Pavimento rígido

Os Pavimentos Rígidos são aqueles pouco deformáveis, constituídos principalmente de concreto de cimento Portland. Pode-se definir um pavimento rígido como sendo aquele que apresenta uma camada de revestimento com uma rigidez muito superior à das camadas inferiores, a qual absorve praticamente todas as tensões provenientes da passagem do tráfego. Nesses pavimentos a espessura é fixada em função da resistência à flexão das placas de concreto e das camadas subjacentes. As placas de concreto podem ser ou não armadas com uma barra de aço.

2.1.2. Pavimento semirrígido

Podem ser considerados como sendo uma situação intermediária entre os pavimentos rígidos e flexíveis. É o caso dos pavimentos constituídos, nas camadas de base e ou sub-base, por misturas de solo-cimento, solo-cal, solo-betume entre outras, que venham a apresentar uma razoável resistência a tração.

2.1.3. Pavimento flexível

Pavimentos flexíveis são aqueles cujas deformações, até certo limite, não os levam à ruptura, constituídos principalmente por materiais betuminosos. Poderão ser compostos por diversas camadas, como subleito, reforço do subleito, sub-base, base e revestimento, conforme figura 3.

A estrutura construída sobre a terraplenagem de forma técnica e econômica, destinada a resistir e distribuir os esforços verticais oriundos do

tráfego; melhorar as condições de rolamento quanto à segurança e conforto; resistir aos esforços horizontais (desgaste), tornando a superfície de rolamento mais durável.

2.2. Asfalto

2.2.1. Asfalto Convencional

Utilizado como revestimento, possui como principal característica, o recebimento e transmissão das cargas de veículos, além de servir como proteção contra o intemperismo. O concreto asfáltico (CA) também denominado concreto betuminoso usinado a quente (CBUQ), trata-se do produto da mistura convenientemente proporcionada de agregado mineral e cimento asfáltico (CAP), ambos aquecidos em temperaturas previamente determinadas, em função da característica de viscosidade e temperatura do ligante.

A composição do CBUQ é geralmente um agregado miúdo, agregado graúdo e um ligante. Os agregados podem ser naturais ou artificiais, no caso do asfalto convencional são utilizados os naturais encontrados na natureza como a areia, cascalho ou pedregulho.

Os agregados são classificados de acordo com suas dimensões para uso em misturas asfálticas, sendo qualificados como "graúdos" ou "miúdos" (DNIT 031/2004 - ES):

- Agregado Graúdo - É o material com dimensões, maiores do que 2,0 mm, ou seja, retido na peneira nº 10. São as britas, cascalhos, seixos etc.; e
- Agregado Miúdo - é o material com dimensões maiores que 0,075 mm e menores que 2,0 mm. É o material que é retido na peneira de nº 200, mas que passa na de abertura número 10. São as areias, o pó-de-pedra etc.

A obtenção do cimento asfáltico de petróleo (CAP) é realizada através da destilação de tipos específicos de petróleo, na qual as frações leves (gasolina, diesel e querosene) são retiradas no refino, sendo o CAP o produto resultante deste processo.

Sua principal função é atuar como um elemento de ligação, colando as partículas minerais agindo assim como um agente impermeabilizante do pavimento.

2.2.2. Asfalto Ecológico

O asfalto ecológico, também chamado de asfalto borracha, foi desenvolvido na década de 1960 nos Estados Unidos por Charles McDonald, que iniciou uma pesquisa quando percebeu que os pneus triturados proporcionavam um material elástico que poderia ser utilizado no asfalto para corrigir problemas.

A qualidade dos pavimentos asfálticos é influenciada pelo tipo de revestimento e materiais utilizados. A busca de novas alternativas para a construção civil é imperativa, dada à escassez de materiais naturais e ao aumento de custos dos materiais de construção. De forma geral, pode-se verificar que em muitos pavimentos, após um curto período de tempo, os defeitos começam a aparecer na superfície de rolamento, causando desconforto e reduzindo a segurança. A dificuldade de conseguir recursos para as obras em rodovias, pelo poder público, fez com que surgissem novas maneiras de organização e gerenciamento da infraestrutura de transporte, inclusive com relação à sua propriedade (LASTRAN, 1998).

Baseado na nova proposta mundial de sustentabilidade através da reutilização e reaproveitamento de materiais descartados descobriu-se que através dessas pesquisas iniciadas por Charles McDonald, as qualidades da utilização de agregados da borracha em ligantes asfálticos, trazem uma série de benefícios, como a economia de energia e combustível, devido o ligante da borracha possuir propriedades de resfriamento mais rápida que o asfalto convencional, com isso ocasiona a diminuição na emissão de poluentes, liberação mais rápida ao tráfego, trazendo também a conservação dos equipamentos.

O asfalto ecológico possui propriedades que permitem a redução na camada do revestimento em até 30%, trazendo como vantagem também maior produção e a borracha tendo propriedades de elasticidade maiores aumentam a vida útil do pavimento também.

3. METODOLOGIA

Pesquisas e estudos sobre o asfalto ecológico são realizados a mais ou menos uma década. Trabalhos que comparam o asfalto convencional com o asfalto ecológico confirmam as vantagens descritas acima. Apesar de essa tecnologia acrescentar mais ou menos 20 a 25% do custo do produto, o custo de manutenção é reduzido, pela sua durabilidade e sua resistência (ANP, 2009).

Pavimentos construídos com asfalto ecológico apresentam um custo um pouco mais elevado do que pavimentos tradicionais, porém ao se avaliar a vida útil do pavimento este custo é inferior.

Pelo fato de pavimentos construídos com asfalto ecológico serem mais duradouros, menos intervenções de manutenção são necessárias. Um quilômetro de pavimento com asfalto ecológico fica na faixa de R\$ 103,5 mil enquanto que um pavimento convencional custaria R\$ 90 mil. Porém o uso de asfalto ecológico permite a redução de espessura do pavimento fator este que pode igualar o custo dos pavimentos, além de poupar recursos naturais como materiais pétreos e ainda construir-se um pavimento de melhor qualidade.

No quadro 2 podemos observar análises reais feitas por Anselmo do DER-SP, 2006, onde são comparados custos dos pavimentos com CA e CA + BMP:

No quadro 3, apresenta-se a espessura real das camadas e custos destes para asfalto convencional.

No quadro 4, apresenta-se a espessura real das camadas e custos destes para asfalto modificado com pó de pneu moído.

No quadro 5, apresenta-se a espessura real de 4 cm para a camada de revestimento com asfalto modificado com pó de pneu moído.

Segundo Anselmo (2006), os resultados finais foram realizados a partir dos custos dos pavimentos, onde o que diferencia um pavimento do outro são os revestimentos, sendo um de asfalto ecológico e o outro de asfalto convencional.

Dessa forma cada revestimento tem um custo variado.

- Asfalto Convencional revestimento com 5 cm à R\$1.116.970,54 / Km
- Asfalto Ecológico revestimento com 5 cm à R\$1.128.224,86 / Km
- Asfalto Ecológico revestimento com 4 cm à R\$1.080.963,77 / Km

Quadro 2: Preços unitários segundo a tabela do DER-SP, 2006

Tipo da Camada	Custo Unitário
Reforço do Sub-Leito	R\$ 3,87/m
Reforço do Sub-Leito Compactado 100% PI	R\$ 3,54/m ³
Transporte do Material escavado além de 15 km	R\$ 3,91/m ³ /km
Sub-Base de Pedra Rachão	R\$ 76,67/m ³
Base Granular Brita Graduada Simples	R\$ 96,53/ m ³
Revestimento Capa CA	R\$ 466,53/m ³
Revestimento Binder CA	R\$ 391,28/m ³
Revestimento Asfalto Borracha	R\$ 468,86/m ³
Imprimadura Betuminosa: Impermeabilizante	R\$ 2,74/m ³
Imprimadura Betuminosa: Ligante	R\$ 1,02/m ³

Quadro 3: Espessura real das camadas e custo para Asfalto Convencional (CA)

Tipo da Camada	Espessura	Custo Unitário
Revestimento Capa CA	5 cm	R\$ 225.051,12
Revestimento Binder CA	5cm	R\$ 197.205,12
Reforço do Sub-Leito	20cm	R\$ 10.836,00
Reforço do Sub-Leito Escavação		R\$ 161.700,00
Reforço do Sub-Leito Compactado 100% PI		R\$ 9.912,00
Transporte do material escavado além de 15 km		R\$ 164.220,00
Sub-Base de Pedra Rachão	15cm	R\$ 144.906,30
Base Granular Brita Graduada Simples	15cm	R\$ 162.170,40
Imprimadura Betuminosa: Impermeabilizante		R\$ 30.688,00
Imprimadura Betuminosa: Ligante		R\$ 10.281,60
		Total: R\$ 1.116.970,54

Quadro 4: Espessura real das camadas e custo para Asfalto Ecológico (CA+BMP)

Tipo da Camada	Espessura	Custo Unitário
Revestimento Asfalto Borracha	5 cm	R\$ 236.305,44
Revestimento Binder CA	5cm	R\$ 197.205,12
Reforço do Sub-Leito	20cm	R\$ 10.836,00
Reforço do Sub-Leito Escavação		R\$ 161.700,00
Reforço do Sub-Leito Compactado 100% PI		R\$ 9.912,00
Transporte do material escavado além de 15 km		R\$ 164.220,00
Sub-Base de Pedra Rachão	15cm	R\$ 144.906,30
Base Granular Brita Graduada Simples	15cm	R\$ 162.170,40
Imprimadura Betuminosa: Impermeabilizante		R\$ 30.688,00
Imprimadura Betuminosa: Ligante		R\$ 10.281,60
		Total: R\$ 1.128.224,86

Quadro 5: Custo de Asfalto Ecológica (CA+BMP), com espessura de 4cm

Tipo da Camada	Espessura	Custo Unitário
Revestimento Asfalto Borracha	4 cm	R\$ 189.044,35
Revestimento Binder CA	5cm	R\$ 197.205,12
Reforço do Sub-Leito	20cm	R\$ 10.836,00
Reforço do Sub-Leito Escavação		R\$ 161.700,00
Reforço do Sub-Leito Compactado 100% PI		R\$ 9.912,00
Transporte do material escavado além de 15 km		R\$ 164.220,00
Sub-Base de Pedra Rachão	15cm	R\$ 144.906,30
Base Granular Brita Graduada Simples	15cm	R\$ 162.170,40
Imprimadura Betuminosa: Impermeabilizante		R\$ 30.688,00
Imprimadura Betuminosa: Ligante		R\$ 10.281,60
		Total: R\$ 1.080.963,77

Segundo Anselmo (2006), os cálculos foram efetuados com base em informações obtidas junto à Petrobras e ao DER-SP. Nestes cálculos, o asfalto ecológico, com 5 cm, é mais caro que o asfalto convencional, com 5 cm, porém as propriedades mecânicas do asfalto ecológico, com 4 cm, são as mesmas do asfalto convencional, com 5 cm, além de levarmos em consideração também o tempo de duração do asfalto ecológico e sua manutenção, que minimizam mais ainda esses custos.

4. FASE DESCRITIVA

A geração e acumulação de resíduos são um dos problemas ambientais mais sérios no âmbito mundial.

A quantidade grande de pneus gerada anualmente e as dificuldades apresentadas pela coleta, o armazenamento e a destinação ambiental adequada dos mesmos, faz com que o pneu seja um dos resíduos mais preocupantes e para um país em desenvolvimento e com dimensões continentais, impõem ao Brasil a adoção de instrumentos eficazes para a administração responsável no plano nacional.

Os pneus inservíveis são utilizados como combustível em fornos de cimenteiras, em função do alto conteúdo energético, os pneus não deixam de emitir poluentes para atmosfera na incineração. A diferença da queima a céu aberto é a presença de controles de emissões, que reduzem, mas não eliminam o volume de poluentes. O controle sobre o tratamento dos resíduos de pneus também é muito complexo, só em 2005, oito empresas fabricantes foram multadas pelo IBAMA por não darem destinação final ambientalmente adequada aos pneus inservíveis, conforme Resolução 258/99 do Conselho Nacional do Meio Ambiente, CONAMA.

A reciclagem e o descarte adequado dos pneus ainda deixam muito a desejar por falta da conscientização da população, falta de apoio e incentivo por parte do governo, uma fiscalização maior nas grandes empresas e claro que com boas ideias poderemos utilizar melhor este produto de forma autossustentável. Além do enorme problema ambiental, o acúmulo de pneus no ambiente constitui grave ameaça à saúde pública, não só pelo risco de

contaminação do ar, do solo e do lençol freático mas também por ter relação direta com a propagação de doenças no meio tropical, como a dengue.

Um dos problemas mais sérios no âmbito mundial é a acumulação de pneus inservíveis, pois a geração de pneus novos se intensificou e cresceu. Conforme o crescimento da indústria automobilística e as dificuldades para a coleta, armazenamento e destinação ambiental para os pneus inservíveis em um país de dimensões continentais como o Brasil, fez-se necessário a adoção de instrumentos eficazes na legislação.

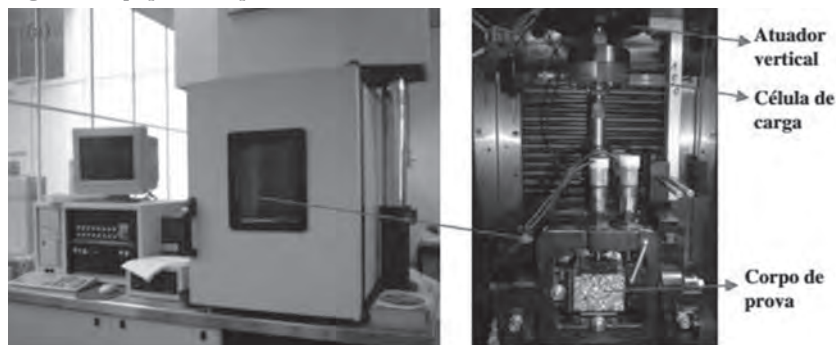
Conforme os problemas apresentados pelos pneus inservíveis, um plano de correto gerenciamento de pneumáticos, foi instaurado pelo CONAMA nas resoluções de nº 258 de 1999, nº301 de 2002 e 416 de 2009 que dispõe sobre a coleta e a destinação dos pneus inservíveis, gerando uma responsabilidade pós-consumo dos fabricantes e importadores

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foram feitos alguns monitoramentos das propriedades mecânicas para analisar as vantagens que o asfalto ecológico apresenta em relação ao asfalto convencional.

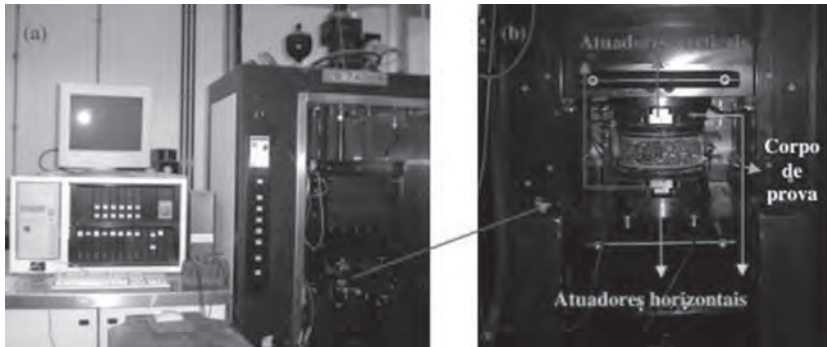
Nos controles de trincas, para analisar a propagação delas do pavimento antigo para o pavimento novo, foram feitos testes, tanto com asfalto convencional, quanto o asfalto ecológico.

Figura 1: Equipamento para ensaio de flexão



Fonte: Autor

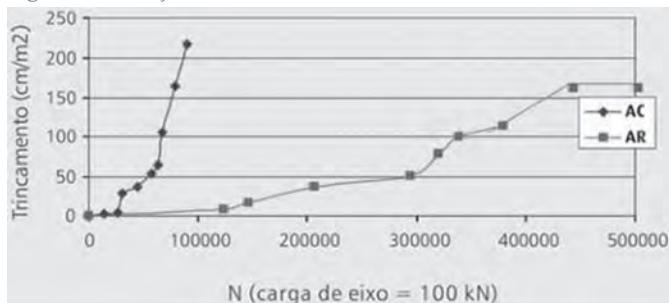
Figura 2: Equipamento de ensaio RSST-CH



Fonte: Autor

A figura 3 contém o gráfico que mostra a evolução do trincamento com o tráfego nas estruturas ensaiadas, sendo o asfalto ecológico representado pela sigla AR e o asfalto convencional pela sigla AC. Neste aspecto, o desempenho do asfalto ecológico foi notavelmente superior.

Figura 3: Evolução do Trincamento



Fonte: Autor

As primeiras fissuras refletidas foram observadas na trilha com asfalto convencional após somente 14.000 ciclos de carga, as trincas existentes na camada asfáltica subjacente propagaram-se através do recapeamento em concreto asfáltico convencional, de tal forma que ao final do ensaio o revestimento estava completamente trincado e a única trinca refletida no asfalto ecológico apareceu após 130.000 ciclos de carga.

A conclusão chegada é que o asfalto ecológico é muito eficiente para recapeamento de asfalto trincado.

Os testes realizados obtiveram resultados da solicitação das estruturas, mostrando que o asfalto ecológico, teve um comportamento muito superior ao recapeamento com asfalto convencional.

As trincas se refletiram no recapeamento com o asfalto ecológico 5 a 6 vezes mais lentamente do que no recapeamento em asfáltico convencional, ou seja, a eficiência do recapeamento em asfalto ecológico como retardador de reflexão de trincas foi em média 5,55 vezes superior à do recapeamento em asfalto convencional.

Porém para estabelecer de forma inquestionável um fator de eficiência, é necessário definir-se um fator de correção que leve em conta as diferentes temperaturas médias das estruturas durante os períodos de solicitação, além disso, o recapeamento com asfalto ecológico proporcionou ao pavimento melhor condição estrutural.

Como se pode constatar, a tecnologia do asfalto ecológico tem futuro, o emprego do asfalto ecológico para recapeamentos de pavimentos trincados mostra-se como uma técnica promissora, porém necessita de investimentos e visão empreendedora e não apenas a limitação de um trabalho em curto prazo.

Sabemos que não é fácil quebrar um paradigma e substituir um meio de produção que tem eficiência. Sustentabilidade é isso: preocupação com o meio ambiente, não mais como uma questão secundária, nem somente atribuída a ativistas, mas a todos. Ela é fato e deve ser largamente utilizada.

Se colocarmos a relação custo x benefício, resolvemos boa parte de um problema ambiental complexo e de alto custo de resolução. Relembrando um passado não muito distante ele nos remete à substituição do combustível fóssil (gasolina, diesel) por Etanol, Biodiesel, GNV e até eletricidade. Algo que parecia improvável é hoje fundamental para a população e o meio-ambiente. Pode-se arriscar dizer que, com os subsídios para a substituição do primeiro combustível fóssil, em um tempo não muito distante os veículos já sairão das linhas de produção utilizando estes combustíveis “limpos”.

Os benefícios ecológicos são enormes, bem como os socioeconômicos e técnicos do novo ligante asfáltico, elaborado com adição de borracha reciclada de pneus inservíveis, o que fazem do Asfalto Ecológico o ligante do futuro.

REFERÊNCIAS

ANIP – Associação Nacional de Indústrias de Pneumáticos. Disponível em: <<http://www.anip.com.br/>>. Acesso em: 16 de mar. 2015.

BRASIL ESCOLA. *Vulcanização da Borracha*. Disponível em: <<http://www.brasilecola.com/quimica/vulcanizacao-borracha.htm>>. Acesso em: 5 abr. 2015.

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/112305.htm>. Acesso em: 16 de mar. 2015.

CHOUBANE, B.; G. A. SHOLAR; J. A. MUSSELMAN; G. C. PAGE (1999) *Ten-Year Performance Evaluation of Asphalt-Rubber Surface Mixes*, Transportation Research Record, TRR, v. 1681, n. 0177.

CONAMA. *Resolução nº 258*, de 26 de agosto de 1999, que considera a necessidade de regulamentação aos pneumáticos inservíveis e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res99/res25899.html>>. Acesso em: 6 abr. 2015.

CONAMA. *Resolução nº 301*, de 21 de março de 2002, que altera dispositivos da Resolução nº 258, de 26 de agosto de 1999, que dispõe sobre pneumáticos. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res02/res30102.xml>>. Acesso em: 6 abr. 2015.

CONAMA. *Resolução nº 416*, de 30 de setembro de 2009, que revoga as Resoluções nº 258/1999 e nº 301/2002. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=616>>. Acesso em: 6 abr. 2015.

COSTA, H. M.; VISCONTE, L. L. Y.; NUNES R. C. R., FURTADO, C. R. G. Aspectos Históricos da Vulcanização. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, v. 13, n. 2, p. 125-129, 2003.

KROPNEUS. História do Pneu. Disponível em: <<http://www.kropneus.com.br/HistoriaPneus.asp>>. Acesso em: 5 abr. 2015.

LASTRAN, 1998. Concessão de Rodovias no Rio Grande do Sul. Relatório Interno, UFRGS, RS.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. *Dados de propagação da dengue no Brasil*. Disponível em: <<http://www.portalsaude.saude.gov.br/index.php/component/search/?searchword=dengue&searchphrase=all&Itemid=242>>. Acesso em: 6 abr. 2015.

MORILHA JR., A.; GRECA, M. R. *Considerações Relacionadas ao Asfalto Ecológico - Ecoflex*. IEP, Apostila sobre Asfalto Borracha. Instituto de Engenharia do Paraná (IEP), 2003.

BERNUCCI, L. B. et al. *Pavimentação Asfáltica: formação básica para engenheiros*. Disponível em: <<http://www.ufjf.br/pavimentacao/files/2018/03/Cap-2-Ligantes-asf%C3%A1lticos.pdf>>. Acesso em: 14 jun. 2015.

RODRIGUES, M.R.P. *Caracterização do resíduo da borracha de pneus inservíveis em compostos aplicáveis na construção civil*. 2008. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos.

SPECHT *apud* Cury et al. *Benefícios da Incorporação de Borracha em Pavimentos Asfálticos*, In: Interamericano de Engenharia Ambiental e Sanitária. Cancun, México, p. 8, 2000.