

LUAN ALVES CORRÊA DE MACEDO

**ESTUDO DO REAPROVEITAMENTO DA BORRACHA
DE PNEUS INSERVÍVEIS EM PAVIMENTOS
ASFALTICOS NA CIDADE DE CARATINGA-MG**

BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

FIC – MINAS GERAIS

2013

LUAN ALVES CORRÊA DE MACEDO

**ESTUDO DO REAPROVEITAMENTO DA BORRACHA
DE PNEUS INSERVÍVEIS EM PAVIMENTOS
ASFALTICOS NA CIDADE DE CARATINGA-MG**

Monografia apresentada à banca examinadora da Faculdade de Engenharia Civil das Faculdades Integradas de Caratinga – FIC, como exigência parcial para obtenção do grau de bacharel em Engenharia Civil sob a orientação do professor Fausto Rogério Esteves.

FIC – CARATINGA

2013

BANCA EXAMINADORA

“Aos meus pais, Ângelo e Fabrícia, pela educação ensinada a mim, aos meus irmãos Davi e Laíze, pelo companheirismo, à minha namorada Micheline, pela ajuda no trabalho, ao meu tio Gustavo pelo apoio incondicional, sem o qual não teria conseguido chegar até aqui, familiares e amigos, que de alguma forma contribuíram para a minha vitória.”

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus em primeiro lugar, por ser o meu alicerce, e me sustentar todos os dias em busca dos meus sonhos.

Agradeço à minha mãe Fabrícia, pelo amor e o carinho que dedica a mim todos os dias, sem o qual não chegaria a lugar nenhum.

Agradeço ao meu professor orientador Fausto Rogério Esteves, que forneceu grande auxílio na construção deste trabalho.

A todos amigos, professores e familiares que contribuíram nesta jornada.

“Se Deus encheu tua vida de obstáculos, é porque ele acredita na tua capacidade de passar por cada um deles. Quando Deus está no comando, o impossível acontece.”

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Pneus jogados no meio ambiente.....	16
Figura 2 - Pneus inservíveis, vetores de doença no meio ambiente.....	21
Figura 3 - Pneus inservíveis, sem destinação final adequada, situado no depósito do Centro Automotivo Magalhães em Caratinga, situado no bairro Limoeiro.....	22
Figura 4 - Componentes dos pneus.....	24
Figura 5 - Indústria de Pneus no Brasil.....	25
Figura 6 - Camadas genéricas de um pavimento.....	31
Figura 7 – Pintura de Ligação.....	33
Figura 8 - Esforços, Pavimento Flexível x Rígido.....	34
Figura 9 - Pó de borracha moída de Pneus.....	35
Figura 10 - Recapeamento Rodovia dos Imigrantes, SP.....	39
Figura 11 - Deformação de trilhas de rodas.....	40
Figura 12 - Trincas por fadiga.....	41
Figura 13 - Agitador Mecânico.....	45
Figura 14 - Rolos Pneumáticos compactando asfalto borracha.....	47
Figura 15. Amostra de Pneus inservíveis pesados para cálculo de estudo de caso.....	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Peso bruto de amostra de pneus usados.....	49
Tabela 2 - Media da Largura das principais ruas de Caratinga.....	50
Tabela 3 - Porcentagem em massa dos componentes dos pneus.....	51

LISTA DE ABREVIATURAS

ADP	Asfalto diluído de petróleo
ANIP	Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos
AMP	Asfaltos modificados por polímero
BMP	Borracha Moída de Pneus
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
CAP	Cimento Asfáltico de Petróleo
CNT	Confederação Nacional dos Transportes
DENATRAN	Departamento Nacional de Trânsito
EAP	Emulsões asfálticas de petróleo
PG	Performance Grade
SHRP	Strategic Highway Research Program

RESUMO

O Brasil conta com uma frota de veículos que está em constante crescimento, isso gera problemas que devem ser solucionados. Os pneus inservíveis descartados no meio ambiente geram um problema ambiental grave, assim como o desgaste elevado da pavimentação nas vias do país, resultando em estradas com condições ruins de tráfego de veículos. O reaproveitamento da borracha dos pneus inservíveis para gerar um novo pavimento, chamado “Asfalto Borracha”, vem como uma solução para esse problema. Nesse trabalho vai ser feita uma estimativa da quantidade de pneus inservíveis que são gerados na cidade de Caratinga e o quanto de asfalto borracha poderia ser gerado através desses.

PALAVRAS-CHAVE: Pneus inservíveis, Problema ambiental, Asfalto Ecológico.

ABSTRACT

Brazil has a fleet of vehicles that is constantly growing, it creates problems that must be solved. The scrap tires discarded in the environment yield a serious environmental problem, as well as increased wear of paving roads in the country, resulting in bad conditions of roads with vehicular traffic. The reuse of rubber from scrap tires to generate a new deck called "Asphalt Rubber", comes as a solution to this problem. In this work will be an estimate of the amount of waste tires are generated in the city of Caratinga and as asphalt rubber could be generated through these.

KEYWORDS: scrap tires, Environmental problem, Asphalt Ecological.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	QUESTÃO AMBIENTAL	16
	2.1 - Legislação Nacional Referente a Pneus Inservíveis.....	17
	2.2 - Pneus Inservíveis: O Desafio da Reciclagem.....	18
	2.3 - Potencial de Contaminação do Meio Ambiente.....	19
	2.4 - Pneus Inservíveis na Cidade de Caratinga.....	22
	2.5 - Aspectos gerais sobre os Pneus.....	23
3	PAVIMENTO ASFÁLTICO	27
	3.1 - Função dos Pavimentos.....	29
	3.2 - Camadas dos Pavimentos.....	30
	3.3 - Classificação dos Pavimentos.....	34
4	ASFALTO BORRACHA	35
	4.1 - Vantagens do Asfalto Borracha.....	36
	4.2 - Aplicações do Asfalto Borracha.....	37
	4.3 - Principais Defeitos dos Pavimentos Asfálticos.....	39
	4.4 - Adição de Borracha de Pneus ao Asfalto.....	41
	4.5 - Onde a borracha faz a diferença?	45
	4.6 – Método de Execução.....	46
	4.7 Asfalto Borracha x Asfalto Convencional.....	48
5	ESTUDO DE CASO	49
	5.1 - Materiais e Métodos.....	49
	5.2 - Resultados e Discussões.....	51
6	CONCLUSÃO	54
7	REFERÊNCIAS	55

1 INTRODUÇÃO

A pavimentação asfáltica vem sofrendo grandes mudanças em seus materiais ao longo do tempo visando uma melhor adequação as novas tecnologias, influenciando na durabilidade, resistência, custo e sustentabilidade. Este trabalho vai mostrar a possibilidade do reaproveitamento de pneus inservíveis como insumo de pavimentação asfáltica, contribuindo para um melhor desempenho do asfalto convencional, além de dar uma destinação ambiental adequada aos pneus velhos.

Os pneus inservíveis vêm dia após dia se tornando um problema mundial. O descarte de pneus cresce em uma escala muito grande em todo o mundo. O descarte de pneus inservíveis tem tido uma importância pequena para governantes de muitos países.

No Brasil a movimentação de transportes está mais voltada para as rodovias, na qual necessitam de grandes investimentos em manutenção de sua infraestrutura. Uma excelente infra-estrutura deveria ser constituída por rodovias bem pavimentadas, com condições de sinalização e leis mais severas.

O presente estudo vem mostrar os impactos ambientais e econômicos, assim como o melhor desempenho do asfalto com adição da borracha como matéria prima, onde é importante destacar a utilização de pneus inservíveis para a confecção desta tecnologia trazendo benefícios para os pavimentos asfálticos.

Segundo dados do mês de julho de 2013 do DENATRAN (Departamento Nacional de Trânsito), a frota de veículos brasileira é de 79.261.065 (Quase 80 milhões) e a frota de veículos de Caratinga no mesmo mês é de 33.104 (trinta e três mil e centro e quatro). Isso gera por ano só na cidade de Caratinga milhares de resíduos de pneus que se tiverem um destino adequado virá a ser de grande valia para o município.

O foco principal deste trabalho é fazer um levantamento quantitativo de pneus inservíveis gerados pela frota de veículos utilitários da cidade de Caratinga, com isso, levantar o potencial de quilometragem que esse pneus, misturados ao asfalto convencional pode render para pavimentar as ruas da cidade que necessitem ser asfaltadas.

Vivemos hoje um tema um tanto quanto polêmico, a questão ambiental. Convivemos com um grave problema que é a disposição final de produtos, pois não

temos um planejamento de descarte de resíduos, neste caso os pneus, que não possuem uma disposição final adequada, uma vez que em aterros sanitários se tornam inviáveis, pois os pneus inteiros apresentam baixa compressibilidade e degradação muito lenta.

Os pneus após sua vida útil acabam indo parar em aterros sanitários, córregos, rios, lixões, margens de pistas, tornando-se um lixo problemático com a criação de vários impactos ambientais, inclusive com danos à saúde, pois neles se acumulam águas da chuva, proliferando as larvas do mosquito (*Aedes Aegypti*) que da origem à dengue, um problema de Saúde Pública e de Meio Ambiente.

Hoje o Brasil passa por um problema de difícil solução que é a disposição final dos pneus que precisam de condições apropriadas e descarta milhões de pneus velhos, gerando um impacto ambiental negativo. Uma solução simples e eficiente pode mudar essa realidade, transformar a borracha dos pneus inservíveis em pavimentação asfáltica para as estradas e ruas das cidades brasileiras.

Segundo a ANIP (Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos) No primeiro trimestre de 2013 foram recolhidas 90 mil toneladas de pneus inutilizáveis pela Reciclanip, empresa de coleta e reciclagem, com um crescimento de 1,5% sobre o mesmo período de 2012.

Existe uma maneira de reduzir os grandes gastos públicos com a manutenção de rodovias, insegurança das estradas, a dependência da matéria prima do petróleo, fonte não renovável na pavimentação asfáltica. É uma tecnologia já usada nos Estados Unidos, Europa e África do Sul desde os anos 1960. O chamado “Asfalto borracha” pode ajudar a resolver grande parte dos problemas gerados pelo despejo de pneus no meio ambiente.

As vantagens da substituição do asfalto convencional pelo asfalto borracha são bastante consideráveis. O benefício ambiental e econômico com a reutilização de pneus inservíveis na produção de uma nova tecnologia, que visa melhorar o desempenho da pavimentação nas rodovias brasileiras, bem como nas ruas da cidade de Caratinga, analisando suas vantagens em relação à qualidade do pavimento, o que resultará em um futuro próximo essa nova postura, como a diminuição do descarte de pneus na natureza.

O incentivo à utilização do reaproveitamento da borracha de pneus inservíveis em pavimentos asfálticos é algo que trará a sociedade de Caratinga, no

que diz respeito ao meio ambiente e também ao pavimento asfáltico das ruas da cidade uma melhor qualidade.

Este trabalho pretende analisar o reaproveitamento da borracha de pneus inservíveis na pavimentação das ruas e avenidas da cidade de Caratinga, como forma de disposição final deste resíduo, tendo em vista o grande problema da frota de veículos da cidade em um crescimento desenfreado, gerando com isso uma grande produção de pneus que não tem onde ser depositado. A reutilização dessa borracha em pavimentação asfáltica vem a ser uma solução sustentável e de grande valia para o meio ambiente, assim como gera um asfalto de excelente qualidade e vida útil estendida.

2 QUESTAO AMBIENTAL

Vivemos hoje um tema um tanto quanto polêmico, a questão ambiental. Convivemos com um grave problema que é a disposição final de produtos, pois não temos um planejamento de descarte de resíduos, neste caso os pneus, que não possuem uma disposição final adequada, uma vez que em aterros sanitários se tornam inviáveis, pois os pneus inteiros apresentam baixa compressibilidade e degradação muito lenta.

Em 1999 o pneu inservível passou a ter uma legislação específica criada pelo CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente), que protege o meio ambiente brasileiro e coloca o fabricante responsável pelo gerenciamento deste resíduo. O descarte do pneu de forma inapropriada acarreta uma série de fatos maléficos ao meio ambiente e a toda a sociedade. A prática é comum, principalmente em grandes centros urbanos que não cresceram de forma planejada e ordenada, nestes locais não existe uma infra-estrutura e até mesmo instruções à população. Os pneus são jogados em lixões, aterros, lagos, rios e córregos, causando impactos negativos ao meio ambiente, tais como contaminação do solo, através de liberação de substâncias tóxicas, enchentes e doenças como a dengue.



Figura 1. Pneus jogados no meio ambiente.

<http://autos.culturamix.com/dicas/os-perigos-dos-pneus-velhos-para-motoristas-e-meio-ambiente>.

2.1 – Legislação Nacional Referente a Pneus Inservíveis

A Resolução CONAMA nº. 416/2009, fala que a destinação ambientalmente adequada de pneus inservíveis como procedimentos técnicos em que os pneus são descaracterizados de sua forma inicial, e que seus elementos constituintes são reaproveitados, reciclados ou processados por outras técnicas admitidas pelos órgãos ambientais competentes, observados a legislação vigente e normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e a segurança, e a minimizar os impactos ambientais adversos.

A Resolução nº 416/2009, determina aos fabricantes e importadores de pneus novos, com peso unitário superior a dois quilos, a coletarem e destinarem adequadamente os pneus inservíveis existentes no território nacional. Além disso, a resolução estabelece que sejam criados pontos de coleta desses pneus em todos os municípios com população superior a 100 mil habitantes. Para cada pneu novo comercializado, fabricantes e importadores deverão dar destinação adequada a um pneu inservível.

As tecnologias de destinação praticadas pelas empresas foram: utilização dos pneus em fornos de clínquer como substituto parcial de combustíveis e como fonte de elementos metálicos; laminação, que é o processo de fabricação de artefatos de borracha; a reciclagem por meio de fabricação de borracha moída, em diferentes granulometrias, com separação e aproveitamento do aço; desvulcanização da borracha para sua regeneração e o co-processamento do pneu com o xisto betuminoso, uma tecnologia desenvolvida pela Petrobras, usada ainda exclusivamente pelo Brasil como substituto parcial de combustível para obtenção de óleo de xisto.

2.2 – Pneus Inservíveis: O Desafio da Reciclagem

A Reciclagem é a recuperação, reprocessamento ou reutilização de materiais descartados como alternativa à sua disposição final em forma de resíduo. Essa

utilização como matéria prima de materiais que de outra forma, seriam considerados despejos, representa o principal incentivo às tentativas de incorporação dos resíduos de borracha provenientes de pneus.

A Resolução CONAMA 416/2009 considera que os pneus usados devem ser preferencialmente reutilizados, reformados e reciclados antes de sua destinação final adequada. Antes de designarmos o pneu de inservível, deve-se avaliar se o pneu tem condições de ser reformado, submetendo-se a um processo de reutilização da carcaça com a finalidade de aumentar sua vida útil. Esses processos de reforma podem ser realizados através da recapagem, recauchutagem e remoldagem.

Pneus inservíveis são pneus usados que apresentam danos irreparáveis em sua estrutura não se prestando mais à rodagem ou à reforma. Estes devem ter sua destinação ambientalmente adequada, sendo necessário seguir procedimentos técnicos em que os pneus são descaracterizados de sua forma inicial, e que seus elementos constituintes são reaproveitados, reciclados ou processados por outras técnicas admitidas pelos órgãos ambientais competentes, observando a legislação vigente e normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança, e a minimizar os impactos ambientais adversos.

Existe três formas de se recuperar um pneu, que são a recauchutagem, remoldagem e recapagem.

Recauchutagem: consiste em reformar o pneu através da substituição de sua banda de rodagem e dos seus ombros.

Para que o processo de recauchutagem seja bem feita é necessário que a estrutura geral do pneu não apresente cortes ou deformações e a banda de rodagem deve apresentar os sulcos e saliências que permitem a aderência do pneus ao solo. Um pneu recauchutado pode prolongar a vida útil do pneu em até 40% e economiza 80% dos recursos utilizados para confecção de um pneus novo, ou seja, a recauchutagem economiza energia e matéria-prima, que seriam utilizados para a confecção de pneus novos¹.

¹ RESENDE, E. **Canal de Distribuição Reverso na Reciclagem de Pneus: Estudo de Caso**. 2004. Dissertação (Mestrado) - Pontifícia Universidade Católica. Rio de Janeiro. 2004. Disponível em: <https://20dcd6c1-a-62cb3a1a-s-sites.googlegroups.com/site/arquivosdereciclagem/manuais/pneus.PDF> acesso em: 23/10/2013.

“**Remoldagem:** processo que remove a borracha das carcaças, de talão a talão. Em seguida o pneu é totalmente reconstruído e vulcanizado sem qualquer emenda, proporcionando perfeito balanceamento, apresentação e segurança no uso.”²

“**Recapagem:** processo cujo único reconstruído é a banda de rolagem, baseia-se na reconstrução do pneu, utilizando-se de 1/5 da matéria-prima que seria necessária para a constituição de um novo pneu.”³

Como o pneu não é somente constituído de borracha, o seu processo de recuperação e regeneração exige a separação da borracha vulcanizada de outros componentes (como metais, tecidos e etc.). O arame e a malha de aço são recuperados como sucata de ferro qualificada, o tecido de nylon é recuperado e utilizado como reforço em embalagens de papelão.

A questão ecológica pode ser corretamente aplicada a esta forma de produção de asfalto, mas o resultado ambiental positivo na destinação final dos pneus usados ainda é muito pequeno. Alguns milhares de quilômetros pavimentados com asfalto borracha representam a destinação de uma ínfima parcela do total de carcaças de pneus. A Reciclagem e reutilização desse material são de suma importância para a população brasileira, bem como para o município de Caratinga.

2.3 – Potencial de Contaminação do Meio Ambiente

Durante a queima incontrolada de pneus existem dois subprodutos que geram os maiores riscos de contaminação ao meio ambiente: o óleo pirolítico e as cinzas. Devido à diminuição da quantidade de oxigênio no ar e ao calor intenso que gera, além da ocorrência de reações de pirólise, produzindo como conseqüência um alcatrão oleoso.

² SOUZA, Renata Tatiana. **Análise da logística reversa de pneus usados e inservíveis e seus impactos ambientais quando descartados Inadequadamente.** Monografia. Tecnólogo em Logística. Faculdade de tecnologia da zona leste. São Paulo. 2009. Disponível em <<http://fateczl.edu.br/TCC/2009-1/tcc-233.pdf>>, acesso em 23/10/2013.

³ RESENDE, E. **Canal de Distribuição Reverso na Reciclagem de Pneus: Estudo de Caso.** 2004. Dissertação (Mestrado) - Pontifícia Universidade Católica. Rio de Janeiro. 2004. Disponível em: <https://20dcd6c1-a-62cb3a1a-s-sites.googlegroups.com/site/arquivosdereciclagem/manuais/pneus.PDF> acesso em: 23/10/2013.

“Esse produto do óleo pirolítico consiste em uma mistura de nafta, benzeno, tiazóis, aminas, etilbenzeno, tolueno e outros hidrocarbonetos. Existem igualmente metais como o cádmio, o cromo, o níquel e o zinco.”⁴

Os pneus ocupam um papel importante na discussão dos impactos ambientais causados no solo, no ar e a água. Quando utilizado, o pneu libera fragmentos ao ar provocando reações alérgicas às pessoas, ao término de sua vida útil, tornam-se estruturas difíceis de serem eliminadas, pois são produzidos com objetivo de ter vida longa, além da dificuldade de serem armazenados em função de seu tamanho. Por não haver local para deposição, atualmente os aterros sanitários não os recebem inteiros, por isso continuam sendo abandonados clandestinamente, contribuindo para o aumento da luta dos estados contra as doenças e degradações do meio ambiente.

“É vedada a destinação final de pneus no meio ambiente, tais como o abandono ou lançamento em corpos d’água, terrenos baldios ou alagadiços, a disposição em aterros sanitários e a queima a céu aberto.”⁵

A queima dos pneus representa uma ameaça de contaminação ao solo e aos lençóis freáticos, uma vez que os produtos químicos tóxicos e os metais pesados liberados pelo pneu em sua combustão podem durar até 100 anos no meio ambiente.

Quando jogados em córregos, lagos ou rios, os pneus provocam a diminuição da calha desses locais que conseqüentemente ficam mais passíveis a enchentes, causando inundações, além das doenças eminentes a este tipo de situação. Os pneus podem reter ar e gases em seu interior, fazendo com que o pneu tenda a ir para a superfície do aterro quebrando a camada de cobertura. Com uma rachadura nessa camada, os resíduos se tornam expostos, novamente atraindo insetos, roedores e pássaros, e permitem que os gases escapem sem controle. Além disso, é um caminho, também, para que a água das chuvas entre, produzindo uma quantidade maior de chorume. Uma vez na superfície, tornam-se vetores de proliferação de insetos transmissores de doença tropicais – com destaque ao Aedes

⁴ LAGARINHOS, 2008. **Tecnologias utilizadas para a reutilização, reciclagem e valorização energética de pneus no Brasil**. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0104-14282008000200007&script=sci_arttext> acesso em 05/11/2013.

⁵ **RESOLUÇÃO CONAMA 416**, de 30 de setembro de 2009. Disponível em: http://servicos.ibama.gov.br/ctf/manual/html/res_con_416_09.pdf Acesso em: 23/10/2013.

aegypti, transmissor da dengue, doença endêmica no Brasil e ambiente propício para proliferação de roedores que, entre inúmeras doenças, transmitem a leptospirose.

A queima de pneus sem nenhum tipo de tratamento ou filtro da fumaça emitida que libera substâncias altamente tóxicas, que podem representar riscos de mortalidade prematura, deterioração das funções pulmonares, problemas do coração, depressão do sistema nervoso e central.⁶

A queima a céu aberto dos resíduos pneumáticos contamina o ar com uma fumaça altamente tóxica composta de carbono e dióxido de enxofre, além de poluir o solo por liberar grande quantidade de óleo que se infiltra e contamina o lençol freático. Quando abandonados ou dispostos em depósitos irregulares, os pneus servem de local para procriação de vetores de doenças. É importante orientar que não devem ser enterrados principalmente com resíduos sólidos urbanos, pois ocupam grande volume dos aterros sanitários e dificultam a operação de recobrimento e compactação.

⁶ SOUZA, Renata Tatiana. **Análise da logística reversa de pneus usados e inservíveis e seus impactos ambientais quando descartados Inadequadamente**. Monografia. Tecnólogo em Logística. Faculdade de tecnologia da zona leste. São Paulo. 2009. Disponível em <<http://fateczl.edu.br/TCC/2009-1/tcc-233.pdf>>, acesso em 23/10/2013.



Figura 2. Pneus inservíveis, vetores de doença no meio ambiente.
<http://www.orondoniense.com.br/section.asp?cod=noticias&cd=22404>

2.4 – Pneus Inservíveis na Cidade de Caratinga-MG

A situação dos pneus inservíveis na cidade de Caratinga é incerta.

Em visita a Secretaria de Meio Ambiente da Cidade no dia 18 de outubro de 2013 foi recolhida a informação de que no atual governo da cidade não há um ponto de coleta de pneus inservíveis.

A informação é de que no governo anterior, a Empresa RECICLANIP, que opera em São Paulo, fazia o recolhimento do estoque de pneus inservíveis da cidade, recolhendo os pneus quando o volume depositado no Ecoponto da cidade situado no Bairro das Graças contabilizava a quantidade necessária para abastecer uma carreta cegonha, que levava os pneus para serem reciclados. Hoje isso não acontece mais, ficando a cargo das borracharias da cidade dar um destino final e incerto aos pneus descartáveis da cidade.



Figura 3. Pneus inservíveis, sem destinação final adequada, situado no depósito do Centro Automotivo Magalhães em Caratinga, situado no bairro Limoeiro. Fonte: Acervo Particular do Pesquisador.

2.5 – Aspectos Gerais Sobre os Pneus

O pneumático, popularmente conhecido como pneu, é um componente de um sistema de rodagem constituído de elastômeros, produtos têxteis, aço e outros materiais que quando montado em uma roda de veículo e contendo fluidos sobre pressão, transmite a tração dada a sua aderência ao solo, sustenta elasticamente a carga do veículo e resiste à pressão provocada pela reação do solo.

- **Características dos Pneus**

O pneu é um tubo de borracha cheio de ar, e ajustado ao aro da roda do veículo, tornando possível a tração do veículo absorvendo os choques com o solo sob o qual o veículo trafega.

O pneu é constituído basicamente por um grande número de componentes:

- Aço, tecido de náilon ou poliéster e fibra de vidro;
- Borracha natural, e sintética, incorporando vários tipos de polímeros;
- Reforçadores químicos, como carbono preto, sílica e resinas;
- Antidegradantes: ceras de parafina antioxidantes e inibidoras da ação do gás ozônio ;
- Promotores de adesão: sais de cobalto, banhos metálicos nos arames e resinas;
- Agentes de cura: aceleradores de cura, ativadores, enxofre;
- Produtos auxiliares no processamento dos pneus como óleos⁷.

Esta composição visa dotá-lo das características necessárias ao seu desempenho e segurança. Um pneu de veículo de passeio típico, com uma massa inicial aproximada de 10 kg quando precisa ser substituído, sua carcaça pesa algo em torno de 6 kg a 8,5kg, contendo a mesma quantidade de aço e lona em média.

• Estrutura dos Pneus

Um pneu é composto de muitos elementos e compostos, constituído por revestimento de borracha interior, carcaça, zona baixa, aro de talão, flanco, lona de topo e banda de rolamento.

Revestimento de Borracha Interior: é uma camada de borracha sintética estanque ao ar. Esta camada encontra-se no interior do pneu e faz a função de câmara-de-ar.

Carcaça: é uma estrutura flexível formada por filamentos têxteis ou de aço, engastados na borracha que formam arcos retos e se enrolam no aro do talão.

Zona Baixa: tem o papel de transmitir a potência do motor do veículo em aceleração e travagem da jante para a zona de contato com o solo.

Aro de Talão: é a parte do pneu que se fixa à jante. Formado por um filamento de aço inextensível de forma e proporção variável segundo a dimensão e tipo do pneu.

Flanco: representa a altura do pneu. flanco é a zona compreendida entre a banda de rolamento e os talões do pneu.

Lonas de Topo: são constituídas por filamentos metálicos revestidos de borracha. Garantem a resistência mecânica do pneu à velocidade e à força centrífuga.

Banda de Rolamento: é a parte do pneu que está em contato com o solo e está formada por uma camada de borracha em que se realizam uma série de ranhuras que dão origem ao piso ou escultura.⁸

⁷ SALINI, Reus Bortolotto. **Utilização de Borracha Reciclada de Pneus em Misturas Asfálticas**. 2000. Dissertação apresentada para obter o título de Meste em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. Disponível em: <<http://pt.scribd.com/doc/87390500/Utilizacao-de-Borracha-Reciclada-de-Pneus-Em-Misturas-Asfalticas>> acesso em: 05/11/2013.

⁸ MICHELIN pneus. disponível em: <http://www.michelin.pt/pneus-turismo/conselhos/tudo-sobre-o-pneu/o-que-compoe-um-pneu> acessado em 18/10/2013.

Abaixo, a figura ilustra os componentes do pneu: 1) Revestimento de Borracha Interior; 2) Carcaça; 3) Zona Baixa; 4) Aro de Talão; 5) Flanco; 6) Lonas de Topo; 7) Banda de Rolamento; 8) Revestimento de borracha exterior.



Figura 4. Componentes dos pneus.

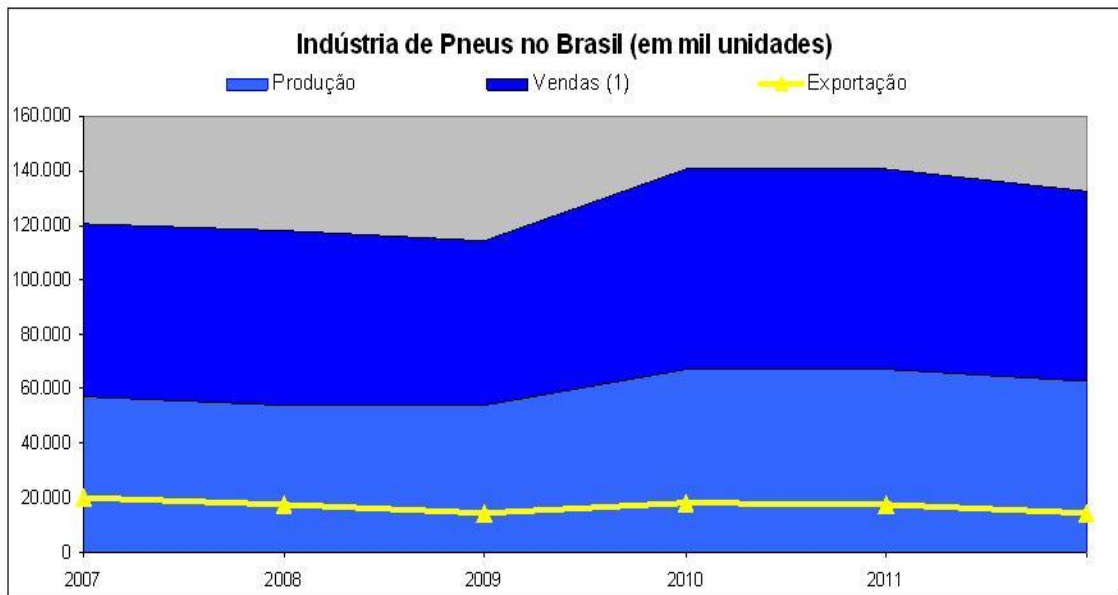
<http://www.michelin.pt/pneus-turismo/conselhos/tudo-sobre-o-pneu/o-que-compoe-um-pneu>

- **Mercado de Pneus**

O Crescimento desenfrado da frota de veículos no século 20, fez o número de pneus inservíveis anualmente descartados atingisse valores autíssimos.

“O segmento de pneus no Brasil tem a expectativa de alta na produção entre 4% e 5% em 2013. Em 2012, o setor produziu 62,6 milhões de pneus, queda de 6,7% em relação a 2011”.⁹

⁹ ANIP - Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos, (2010), http://www.anip.com.br/index.php?cont=detalhes_noticias&id_noticia=485&area=43&titulo_pagina=%DAltimas%20Not%EDcias) acesso em 17/10/2013.



(1) Produção + Importação pelos associados da ANIP

Figura 5. Indústria de Pneus no Brasil.

http://www.anip.com.br/?cont=conteudo&area=32&titulo_pagina=Produ%E7%E3o

“No Brasil são colocados no mercado aproximadamente 67,3 milhões de pneus por ano, sendo que cerca de 44,3 milhões são resultados da produção nacional e 23 milhões são pneus reaproveitados”.¹⁰

“As importações são muito significativas em termos de pneus usados e recauchutados que visam atender um segmento de mercado que busca o baixo preço. No Brasil são descartados mais de 30 milhões por ano”.¹¹

A estimativa sobre a disposição final de pneus velhos no Brasil está baseada na frota de veículos do país e na produção anual de pneus, já que o não há monitoramento por parte do setor privado e nem do governo.

¹⁰ ANIP - Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos, (2010), http://www.anip.com.br/index.php?cont=detalhes_noticias&id_noticia=485&area=43&titulo_pagina=%DAltimas%20Not%EDcias) acesso em 17/10/2013.

¹¹ BNDES, 2007. Banco Nacional do Desenvolvimento. Disponível no site: http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/bnset/set2504.pdf acesso em 18/10/2013.

3 – PAVIMENTO ASFÁLTICO

Pavimento é uma estrutura construída após a terraplenagem e destinada, a resistir e distribuir ao subleito os esforços verticais e oriundos dos veículos, bem como resistir os horizontais que nela atuam tornando mais durável a superfície de rolamento e melhorar as condições de rolamento quanto à comodidade e segurança.

“Pavimento é uma superestrutura constituída por um sistema de camadas de espessuras assentadas sobre um espaço considerado como infinito (a infra-estrutura ou terreno de fundação), a qual é designada de subleito”.¹²

O homem com o intuito de conseguir ter acesso às áreas cultiváveis, fontes de madeira, mineirais e água, além do desejo de aumentar seu território de influencia criou o que chamamos de estrada. Os Romanos mais tarde, aperfeiçoaram as estradas instalando pavimento e drenagem, com o intuito de torná-las duradouras. Naquela época, já havia o entendimento de que rodovias faziam parte de sociedades desenvolvidas e sofriam degradação ao longo dos anos e sua manutenção era fundamental.

Olhando pela evolução da sociedade, o sistema rodoviário não nos permite ufanar-nos de nosso desenvolvimentismo. Uma pesquisa da Confederação Nacional dos Transportes (CNT), em 2005, revelou que mais de 70% do nosso sistema rodoviário é deficiente, e as rodovias de padrão adequado praticamente restringem se ao estado de São Paulo (Rodovias estaduais). A deficiência no sistema rodoviário já é uma questão bem antiga no País, no entanto, não iremos nos deter nas razões históricas para esse estado, mas na forma de se encarar tal questão, o que é urgente e inadiável, sob imputação de responsabilidade e de incompetência¹³.

O Pavimento asfáltico é um dos materiais mais antigos utilizados pelo homem. É empregado desde a construção de estradas até a vedação de barcos. O primeiro registro do uso do asfalto como material de construção de estradas é de 625 antes de Cristo na Babilônia, e é o principal pavimento utilizado até hoje.

¹² MANUAL DO DNIT, 2006. Disponível em: http://www1.dnit.gov.br/arquivos_internet/ipr/ipr_new/manuais/Manual_de_Pavimentacao_Versao_Final.pdf. Acesso em: 21/10/2013

¹³ BALBO. J. T, 2007. **Pavimentação Asfáltica. Materiais, projeto e restauração**. São Paulo, SP. Oficina de Textos, 2007, p.14.

- **O que são Asfaltos?**

São materiais aglutinantes, de cor escura, sólidos, semi-sólidos ou líquidos, obtidos por um processo de destilação.

“São formados por quatro frações químicas: saturados, aromáticos, resinas e asfaltenos (SARA), sendo que as três primeiras frações constituem a porção maltênica e a última denomina-se porção asfaltênica”.¹⁴

Mudança na proporção entre estas frações conduz a asfaltos com diferentes composições químicas.

- **Classificação dos Asfaltos**

Os asfaltos podem ser classificados em dois grupos:

“Asfalto para pavimentação, Cimentos asfálticos de petróleo (CAP); Asfaltos diluídos de petróleo; Emulsões asfálticas; e Asfaltos modificados. Asfaltos industriais: Asfaltos oxidados; e Asfaltos modificados para impermeabilização”.¹⁵

A obtenção de asfalto é realizada através da destilação de tipos específicos de petróleo, na qual as frações leves (gasolina, diesel e querosene) são retiradas no refino. O produto resultante deste processo passa a ser chamado de Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP).

O CAP é um material termossensível utilizado principalmente para aplicação em trabalhos de pavimentação, pois, além de suas propriedades aglutinantes e impermeabilizantes, possui características de flexibilidade e alta resistência à ação da maioria dos ácidos inorgânicos, sais e álcalis. Em suas aplicações, o CAP deve ser homogêneo e estar livre de água, e para que sua utilização seja adequada, recomenda-se o conhecimento prévio da curva de viscosidade/temperatura.¹⁶

O CAP é aplicado em misturas a quente, pré-misturados, areia-asfalto e concreto asfáltico; recomenda-se o uso dos 30/45, 50/70 e 85/100, com teor de

¹⁴ FERRARI, RIBEIRO E OLIVEIRA. **Potencial de Utilização de Pneus Usados em Pavimentação Asfáltica no BRASIL.** Disponível em: <<http://observatorioderesiduos.com.br/wp-content/uploads/2010/10/JeanineFerrari.pdf>> acesso em 20/11/2013.

¹⁵ FERRARI, RIBEIRO E OLIVEIRA. **Potencial de Utilização de Pneus Usados em Pavimentação Asfáltica no BRASIL.** Disponível em: <<http://observatorioderesiduos.com.br/wp-content/uploads/2010/10/JeanineFerrari.pdf>> acesso em 20/11/2013.

¹⁶ PETROBRAS. Cimentos Asfálticos de Petróleo (CAPs) – disponível em: <[http://www.br.com.br/wps/portal/portalconteudo/produtos/asfalticos/cap!/ut/p/c4/04_SB8K8xLLM9MS_SzPy8xBz9CP0os3hLf0N_P293QwP3YE9nAyNTD5egIEcnQ3dLA_2CbEdFAFe2Wp0!/> acesso em: 06/11/2013.](http://www.br.com.br/wps/portal/portalconteudo/produtos/asfalticos/cap!/ut/p/c4/04_SB8K8xLLM9MS_SzPy8xBz9CP0os3hLf0N_P293QwP3YE9nAyNTD5egIEcnQ3dLA_2CbEdFAFe2Wp0!/)

asfalto de acordo com o projeto respectivo.

O cimento asfáltico pode ser encontrado em diversos graus de penetração, de acordo com sua consistência. Os CAP's que são produzidos e comercializados no Brasil seguem a classificação por penetração.

Dos asfaltos fabricados no Brasil, cerca de 95% destinam-se a trabalhos de pavimentação, e uma pequena parcela a aplicações industriais, como impermeabilizantes e isolantes. As refinarias do país produzem cerca de 1,4 milhões de toneladas por ano. O asfalto borracha pertence ao grupo dos asfaltos modificados. Grandes volumes de resíduos industriais de difícil degradação como escórias de aciaria, plásticos, vidros, cinzas de carvão e borracha de pneus inservíveis podem ter um destino adequado se adicionados ao asfalto usado em pavimentação. Além de constituir um bom negócio para todos o asfalto é um produto largamente reciclável.¹⁷

A infra-estrutura viária que serve a qualquer tipo de tráfego e independente das condições climáticas, o asfalto tem a preferência no Brasil e no mundo para a construção e manutenção das estradas pavimentadas.

3.1 – Funções dos Pavimentos

Pavimentar uma via de circulação de veículos é obra civil que enseja a melhoria operacional para o tráfego, na medida em que é criada uma superfície mais regular que é garantia de melhor conforto no deslocamento do veículo, uma superfície mais aderente que é a garantia de mais segurança em condições de pista úmida ou molhada, uma superfície menos ruidosa diante da ação dos pneumáticos que é garantia de melhor conforto ambiental em vias urbanas e rurais, seja qual for a melhoria física oferecida.

Uma via com boas condições de rolamento assim como a garantia de uma superfície aderente aos pneus dos veículos, proporciona ao usuário automaticamente uma expressiva redução de custos operacionais, pelo fato que os custos de operação e manutenção dos veículos estarem associados às condições de superfície dos pavimentos. A regularidade também permite

¹⁷ ABEDA – Associação Brasileira das Empresas Distribuidoras de Asfalto. **Meias Verdades – Asfalto: de repente o grande vilão**. Disponível no site <<http://www.abeda.org>> acesso em 30/10/2013.

maior velocidade que proporciona menos tempo de viagem, porém aumento no gasto de combustível¹⁸.

A pavimentação deve propiciar um tráfego confortável e seguro aos usuários, com estruturas e materiais capazes de suportar os esforços da ação do tráfego, combinados com as condições climáticas, a um custo reduzido, buscando, o aproveitamento de materiais locais para as obras e garantindo um bom desempenho em termos de custos operacionais e de manutenção ao longo dos anos de serviço desta infra-estrutura social.

3.2 – Camadas dos Pavimentos

Nos pavimentos, cada camada possui uma ou mais funções específicas que devem proporcionar aos veículos as condições adequadas de suporte e rolamento em qualquer condição climática.

As cargas aplicadas sobre a superfície do pavimento geram um determinado estado de tensões na estrutura, que dependera muito do comportamento mecânico de cada uma das camadas e do conjunto destas. As cargas são aplicadas por veículos e também pelo ambiente, geralmente de modo transitório. Portanto são repetitivas, o que não implica repetição constante de suas respectivas magnitudes¹⁹.

As cargas externas geram esforços solicitantes verticais e horizontais. Os esforços verticais podem ser reduzidos a solicitações de compressão e de cisalhamento; os esforços horizontais podem inclusive solicitar certos materiais à tração ou simplesmente atuar confinando outros materiais.

O pavimento possui as seguintes camadas: revestimento, base, sub-base, reforço do subleito e subleito.

¹⁸ BALBO. J. T, 2007. **Pavimentação Asfáltica. Materiais, projeto e restauração.** São Paulo, SP. Oficina de Textos, 2007, p.15.

¹⁹ BALBO. J. T, 2007. **Pavimentação Asfáltica. Materiais, projeto e restauração.** Oficina de textos. São Paulo, SP. 2007.

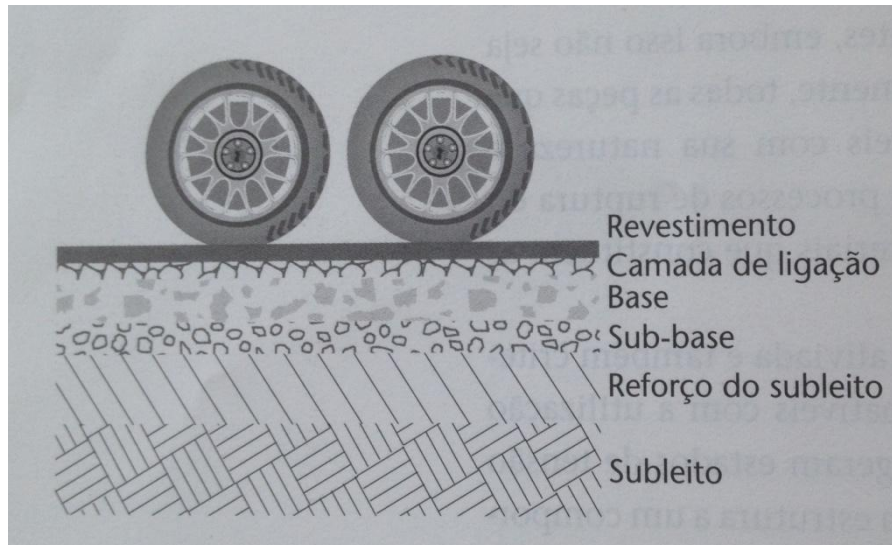


Figura 6. Camadas genéricas de um pavimento (BALBO, 2007, p.36)

- **Revestimento**

O revestimento asfáltico na composição de pavimentos é uma das soluções mais tradicionais e utilizadas na construção e recuperação de vias urbanas, vicinais e de rodovias.

O revestimento deverá receber cargas estáticas ou dinâmicas, sem sofrer grandes deformações elásticas ou plásticas, desagregação de componentes ou perda de compactação; Necessita ser composto de materiais bem aglutinados ou dispostos de maneira a evitar sua movimentação horizontal. Alguns materiais permitem tais condições: pedras cortadas justapostas, paralelepípedos, blocos pré-moldados de concreto, placas de concreto, concreto compactado com rolo, tratamentos superficiais betuminosos e misturas asfálticas em geral²⁰.

Os revestimentos asfálticos são muitas vezes subdivididos em duas ou mais camadas por razões técnicas, construtivas e de custo. Assim, é comum encontrar expressões como “camada de rolamento” e “camada de ligação” para descrever um revestimento dividido em duas camadas de diferentes materiais.

- **Subleitos**

Os esforços impostos sobre sua superfície serão aliviados em sua profundidade (normalmente se dispersam no primeiro metro). Deve-se ter maior preocupação com seus estratos superiores, onde os esforços solicitantes atuam com

²⁰ BALBO. J. T, 2007. **Pavimentação Asfáltica. Materiais, projeto e restauração.** Oficina de textos. São Paulo, SP. 2007, p.36.

maior magnitude. O subleito será constituído de material natural consolidado e compactado, por exemplo, nos cortes do corpo estradal, ou por um material transportado e compactado, no caso dos aterros. Eventualmente, será também aterro sobre corte de características medíocres para subleito.

- **Reforços de Subleitos**

De que maneira ocorrerão às camadas intermediárias dos pavimentos? Admita-se um dado subleito composto de solo com pequena resistência aos esforços verticais (de cisalhamento) que ocorreriam sobre sua superfície. Nesse caso, é preciso pensar em se executar sobre o subleito uma camada de solo de melhor qualidade, que sirva como um reforço sobre sua superfície, para que a fundação subjacente a esse reforço receba pressões de menos magnitude, compatíveis com sua resistência.

O emprego de camada de reforço de subleito não é obrigatório, contudo, procura-se utilizá-lo em tais circunstâncias por razões econômicas, pois subleitos de resistência baixa exigiriam, para alguns tipos de pavimentos (especialmente os flexíveis), do ponto de vista de projeto, camadas mais espessas de base e sub-base. O reforço do subleito resiste a solicitações de maior ordem de grandeza, respondendo parcialmente pelas funções do subleito e exigindo menores espessuras de base e sub-base sobre si, sendo em geral menos custoso o emprego de solos de reforço, em vez de maiores espessuras de camadas granulares ou cimentadas, quaisquer que sejam²¹.

A camada de reforço com solo de maior qualidade será toleradas maiores pressões vindas das cargas aplicadas sobre o pavimento, já que é mais resistente que o solo de fundação.

- **Bases e Sub-bases**

Para aliviar as pressões sobre as camadas de solo inferiores, surgem às camadas de base e sub-base, desempenham papel importante na drenagem subsuperficial dos pavimentos.

Quando a camada base exigida para desempenhar tal função é muito espessa, procura-se, por razões de natureza construtiva e econômica, dividi-la em duas camadas, criando-se, assim, uma sub-base, geralmente de menor custo. As bases podem ser constituídas por solo estabilizado naturalmente, misturas de solos e agregados (solo-brita), brita graduada, brita graduada tratada com cimento, solo estabilizado quimicamente com ligante hidráulico ou asfáltico, concretos etc²².

²¹ BALBO. J. T, 2007. **Pavimentação Asfáltica. Materiais, projeto e restauração.** São Paulo, SP. Oficina de Textos 2007, p.37 e 38.

²² BALBO. J. T, 2007. **Pavimentação Asfáltica. Materiais, projeto e restauração.** São Paulo, SP. Oficina de Textos 2007, p. 38.

Para as sub-bases, podem ser utilizados os mesmo materiais citados para o caso das bases. No caso dos solos estabilizados quimicamente, de maneira geral, os consumos de agentes aglomerantes são pequenos.

- **Imprimações Entre Camadas**

Entre muitas camadas de pavimento mencionadas, é necessária a execução de um filme asfáltico, que é chamado de “pintura de ligação” (com função de aderir uma camada à outra) ou “imprimação impermeabilizante” (com função de impermeabilizar uma camada de solo ou granular antes do lançamento da camada superior). Entre quaisquer camadas de revestimento asfáltico, sempre é aplicada uma pintura de ligação. As pinturas de ligação são aplicadas com emulsões asfálticas, e as imprimações impermeabilizantes, com asfaltos diluídos.



Figura 7. Pintura de Ligação.

<http://anuncios-compra-comprar+porto-alegre-norte/emulsao-asfaltica-rio-grande-do-sul--rr1c-rr2c-rl-rm/34285213>

3.3 – Classificação dos Pavimentos

De uma forma geral, os pavimentos são classificados em flexíveis e rígidos.

- **Pavimento Flexível:** é aquele em que todas as camadas sofrem deformação elástica significativa sob o carregamento aplicado e a carga se distribui em parcelas aproximadamente equivalentes entre as camadas. Exemplo: pavimento constituído por uma base de brita (brita graduada, macadame) ou por uma base de solo pedregulhoso, revestida por uma camada asfáltica.
- **Pavimento Rígido:** é aquele em que o revestimento tem uma rigidez elevada em relação às camadas inferiores e absorve praticamente todas as tensões provenientes do carregamento aplicado. Exemplo: pavimento constituído por lajes de concreto de cimento portland.

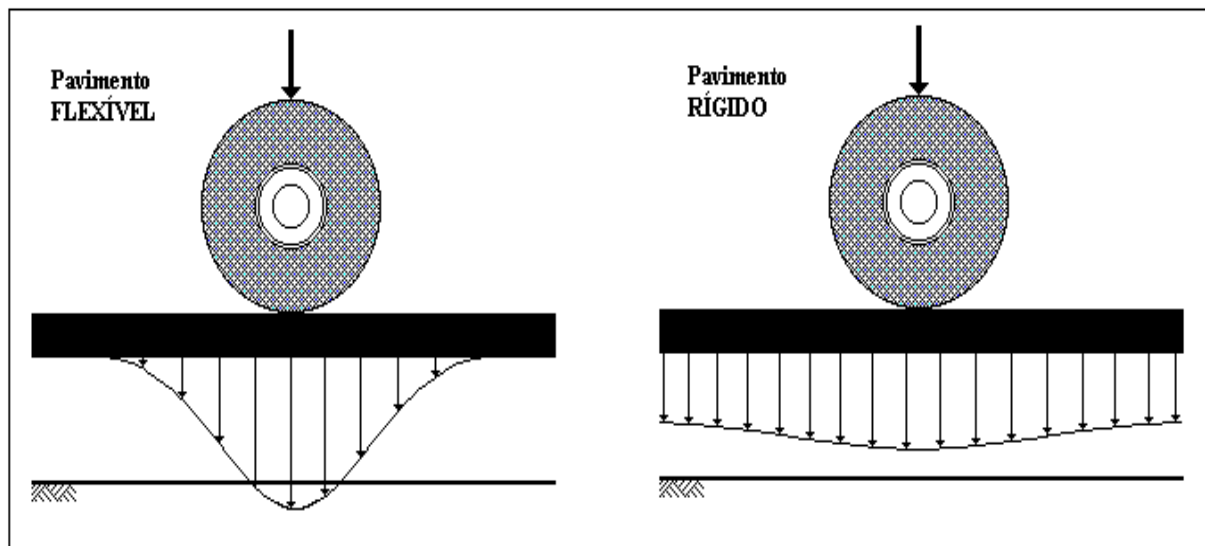


Figura 8. Esforços, Pavimento Flexível x Rígido.

<http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=1059521&page=18>

4 - ASFALTO BORRACHA

O asfalto-borracha é uma mistura efetuada a quente, sob condições controladas, de ligante asfáltico (cimento asfáltico de petróleo – CAP), borracha moída de pneus (BMP), onde o teor da borracha varia de 15% a 25% em relação ao peso total da mistura, diluentes e alguns aditivos especiais se houver necessidade.

Houve muitas pesquisas para descobrir uma forma eficaz de reutilizar pneus já descartados, que já não possuem mais utilidade pelo fato do material durar mais ou menos 600 anos para se decompor, em 1963 um americano chamado Charles H. Macdonald adicionou borracha moída ao asfalto, dando origem ao asfalto borracha. Esse novo produto, cerca de 40% mais resistentes do que o asfalto convencional, possui diversas vantagens, sendo mais confortável, provocando menos ruído, tem maior aderência, diminuindo a possibilidade de derrapagens²³.

A aplicação de borracha de pneus inservíveis em revestimentos de asfalto em pavimentos tem sido empregada há algumas décadas no exterior. No Brasil já vem sendo usada há alguns anos.

Além de dar destino aos pneus inservíveis de uma forma ecológica, o uso da borracha moída de pneus melhora muito as propriedades e o desempenho do revestimento asfáltico.



Figura 9. Pó de borracha moída de Pneus.

<http://redeglobo.globo.com/globoecologia/noticia/2012/01/pneu-que-nao-serve-mais-deve-ser-descartado-e-ha-quem-reaproveite.html>

²³ FERRARA. R. D. *Estudo comparativo do custo benefício entre o asfalto convencional e o asfalto modificado pela adição de borracha moída de pneus*. Universidade Anhembi Morumbi. Monografia de pesquisa. São Paulo SP. 2006. Disponível em: <http://engenharia.anhembi.br/tcc-06/civil-57.pdf> acesso em 30/10/2013.

4.1 – Vantagens do Asfalto Borracha

As vantagens que a incorporação do asfalto borracha gera, não só para o meio ambiente, retirando o passivo ambiental que agride o meio ambiente, como também para o pavimento como produto final de excelente qualidade e vida útil estendida são muito importantes para a sociedade.

- **Vantagens Ecológicas e Sociais**

O Aspecto ambiental e social deve ser visto como benefício muito importante pelas melhorias que podemos observar na modificação do asfalto convencional com a adição da borracha moída de pneus inservíveis.

Alguns benefícios como novas empresas interessadas em reciclagem de pneus para convertê-los em asfalto-borracha, criação de novas fontes de tributos, gerando novos empregos diretos nas empresas recicladoras e indiretos ligados ao processo de recolhimento e movimentação de pneus inservíveis, retirada dos focos de criação de insetos prejudiciais à saúde e até letais ao ser humano, redução da poluição visual causada pelo acúmulo de pneus no meio ambiente, diminuição do assoreamento de rios e lagos, causados pelo indevido descarte de pneus, diminuição do número de pneus armazenados em depósitos, com isso reduzindo risco de incêndios e a não deposição de pneus jogados de qualquer forma no meio ambiente por donos de empresas, redução da demanda de Petróleo (asfalto), por dois motivos: primeiro, pela substituição de parte do asfalto por borracha moída de pneus inservíveis e, segundo, pela maior durabilidade que será alcançada na vida útil de nossas estradas. Sendo que não podemos esquecer que o petróleo é uma fonte não renovável de energia.²⁴

Todas estas conseqüências ecológicas e sociais acima citadas aliadas a nova tecnologia do asfalto ecológico criado com a borracha reciclada dos pneus inservíveis são muito interessantes e compõe um panorama muito benéfico para a sociedade.

- **Vantagens Técnicas**

A norma ASTM 6114-97, *Standard Specification for Asphalt Rubber Binder* – Norma de Especificação para Asfalto Borracha é referente a pontos básicos da modificação do ligante por via úmida.

²⁴ RAMALHO, A. V. F. **Uma Análise dos Benefícios com a Utilização do Asfalto Borracha nas Rodovias do Brasil**. Monografia. Tecnólogo em Logística. FATEC ZL. São Paulo. 2009. Disponível em <<http://fateczl.edu.br/TCC/2009-2/tcc-214.pdf>>, acesso em: 06/11/2013.

O ligante modificado por borracha granulada de pneus ou simplesmente asfalto-borracha, apresenta algumas vantagens principais com a sua utilização, mostradas a seguir.

Redução da suscetibilidade térmica: misturas com ligante asfalto-borracha são mais resistentes as variações de temperatura, com isso, o seu desempenho tanto a altas temperaturas como a baixas temperaturas é melhor quando comparado com pavimentos convencionais;

Maior flexibilidade: acontece devido a maior concentração de elastômeros na borracha de pneus e a melhor adesividade do ligante aos agregados, proporcionando maior resistência à propagação de trincas;

Maior resistência ao envelhecimento: a presença de antioxidantes e carbono na borracha de pneus auxiliam na redução do envelhecimento por oxidação;

Aumento do ponto de amolecimento: o ligante asfalto-borracha possui um ponto de amolecimento maior que o ligante convencional melhorando a resistência da formação de trilhas de roda.²⁵

Outras vantagens também podem ser citadas como:

Redução da espessura do pavimento asfáltico construído; Aumento da vida útil do pavimento; Melhor aderência pneu-pavimento proporcionada no uso; Redução do ruído provocado pelo tráfego entre 65% e 85%; Redução da aquaplanagem e do efeito “spray” sob chuva, o que contribui para a redução no número de acidentes e de vítimas fatais nas rodovias.

4.2 – Aplicações do Asfalto Borracha

O ligante asfalto-borracha tem sido aplicado em vários serviços de pavimentação, não ficando só restrito às atividades de reabilitação (remendo, selante de trincas e juntas), mas também têm sido utilizada em tratamento superficial, transição entre pavimento existente e a camada de reforço e revestimento de concreto asfáltico.

O asfalto ecológico é utilizado em substituição ao asfalto convencional na produção do asfalto a ser aplicado na construção do pavimento, reduz o acúmulo de deformação permanente nas trilhas de roda, as trincas por

²⁵ RAMALHO, A. V. F. **Uma Análise dos Benefícios com a Utilização do Asfalto Borracha nas Rodovias do Brasil**. Monografia. Tecnólogo em Logística. FATEC ZL. São Paulo. 2009. Disponível em <<http://fateczl.edu.br/TCC/2009-2/tcc-214.pdf>>, acesso em: 06/11/2013.

fadiga e as trincas por contração de origem térmica, que são os principais defeitos apontados em uma pavimentação asfáltica²⁶.

O asfalto ou betume é obtido como resíduo da destilação do petróleo bruto disperso em água, gerando uma emulsão asfáltica. Este cimento asfáltico é utilizado como emulsor de uma mistura (pedra, concreto, metal), com intenso poder agregante, gerando características de coesão, insolubilidade e isolamento térmico e acústico.

A adição de polímeros vindos da borracha de pneus reciclados ao asfalto diminui a suscetibilidade térmica, com isso, aumenta a estabilidade do pavimento em altas temperaturas e diminuindo o risco de fraturas e trincamentos em baixas temperaturas. Confere maior resistência às ações da chuva e proporcionam melhor adesão ao agregado asfáltico.

O asfalto borracha torna-se viável economicamente, se levarmos em conta sua durabilidade maior, a estrada que possuir asfalto borracha precisará de reparos em um intervalo de tempo maior do que a que não possui. Além disso, a incorporação da borracha à construção do asfalto implica uma redução da demanda do petróleo para esse fim. Não podemos esquecer que o petróleo é uma fonte não-renovável de energia.

²⁶ ODA, 2000. **Análise da Viabilidade Técnica da Utilização do Ligante Asfalto Borracha em Obras de Pavimentação**. São Carlos: EESC/USP, (2000), 260 f. Tese (Doutorado em Transportes) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 2000, p. 52.



Figura 10. Recapeamento Rodovia dos Imigrantes, SP.

<http://piniweb.pini.com.br/construcao/sustentabilidade/rodovia-dos-bandeirantes-tera-6pavimento-ecologico-entre-sao-paulo-e-185028-1.aspx>.

4.3 – Principais Defeitos dos Pavimentos Asfálticos

Os principais agentes que deterioram os pavimentos são a deformação permanente nas trilhas de roda e as trincas por fadiga.

- **Deformação nas Trilhas de Roda**

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



Figura 11. Deformação de trilhas de rodas.

<http://dc228.4shared.com/doc/8tMQvzdh/preview.html>

- **Trincas por Fadiga**

O fenômeno de fadiga em revestimentos asfálticos ocorre devido às solicitações repetidas do tráfego e se torna evidente na forma de trincamentos.

Trincas por fadiga são causadas por vários fatores que ocorrem simultaneamente. Geralmente a ocorrência está associada à repetição de carregamentos pesados ou quando o número de aplicações de carga ultrapassa o valor previsto em projeto. Ao contrário da trilha de roda, que pode ser evitável, a fadiga não pode ser evitada indefinidamente, devido à repetição das deformações elásticas resultantes do tráfego²⁷.

Com isso se adiciona borracha moída de pneus inservíveis em materiais asfálticos pelo processo úmido, conseguindo desta forma melhorar o desempenho dos pavimentos em campo, aumentando a sua flexibilidade. Esta aplicação faz com que se possa retardar o aparecimento de trincas, selar trincas existentes e aumentar a impermeabilização destes revestimentos asfálticos.

²⁷ BERTOLLO, S. A. M.; FERNANDES JR., J. L.; SHALCH, V.2002. **Benefícios da Incorporação de Borracha de Pneus em Pavimentos Asfálticos**. Disponível em: <<http://resol.com.br/textos/Reciclagem%20de%20pneus.pdf>> acesso em: 22/10/2013.



Figura 12. Trincas por fadiga.

http://www.atribunaregional.com.br/index.php?pg=exibir_noticia&id_noticia=9932.

4.4 – Adição de Borracha de pneus ao Asfalto

Quando se adiciona borracha de pneus ao ligante asfáltico, ele é modificado permanentemente. Nessa etapa ocorre a transferência mais efetiva dos polímeros e da química dos pneus, com isso o asfalto se torna mais elástico e resistente ao envelhecimento.

A borracha é adicionada ao ligante com reator especial, através de um processo físico químico adequado, obtendo assim uma mistura estável de asfalto borracha.

Em todo o mundo a aplicação de asfalto com borracha normalmente é na hora e no local, ou seja, feita a aplicação do ligante no tratamento por penetração ou na mistura asfáltica deve ocorrer em menos de 24 horas e sua produção é realizada diretamente no local de consumo. No entanto, é possível, com tecnologia adequada, dotar o ligante de estabilidade, sem separação de fases²⁸.

A tecnologia vem sendo desenvolvida e adaptada à realidade brasileira já a alguns anos, utilizando o que existe de melhor em outros países que já utilizam o

²⁸ FERRARA. R. D, 2006. **Estudo comparativo do custo benefício entre o asfalto convencional e o asfalto modificado pela adição de borracha moída de pneus**. Universidade Anhembi Morumbi. Monografia de pesquisa. São Paulo SP. 2006. Disponível em: <http://engenharia.anhembi.br/tcc-06/civil-57.pdf> acesso em 30/10/2013.

Asfalto Borracha e desenvolvendo as características necessárias para o melhor uso no Brasil, considerando as diferenças dos asfaltos brasileiros e das nossas rodovias, assim como controle de qualidade, tipos de usinas, armazenagem dos ligantes, execução das obras, dentre outras características importantes para o uso dessa nova tecnologia.

A adição de borracha de Pneus as misturas asfálticas, deve ser realizada das seguintes formas:

- **Processo Úmido**

O processo úmido consiste na mistura de cimento asfáltico de petróleo (CAP) e borracha moída (5 a 25%), a uma temperatura elevada (150 a 200°C), durante um determinado período de tempo (20 a 120 minutos).

Essa mistura é classificada como uma reação e forma um composto asfalto-borracha, com propriedades reológicas (comportamento mecânico dos materiais que não são nem sólidos e nem líquidos) diferentes do ligante original, podendo ainda ser incorporados aditivos (diluentes) para ajustar a viscosidade da mistura.²⁹

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.

- **Processo seco**

No processo seco, a borracha sofre uma trituração, suas partículas posteriormente serão misturadas com o agregado para em seguida formar o concreto.

“Neste caso existe a substituição de 1 a 3% do agregado fino em peso por essas partículas de borracha.”³⁰

²⁹ FERRARA. R. D, 2006. **Estudo comparativo do custo benefício entre o asfalto convencional e o asfalto modificado pela adição de borracha moída de pneus.** Universidade Anhembi Morumbi. Monografia de pesquisa. São Paulo SP. 2006. Disponível em: <http://engenharia.anhembi.br/tcc-06/civil-57.pdf> acesso em 30/10/2013.

³⁰ FERRARA. R. D, 2006. **Estudo comparativo do custo benefício entre o asfalto convencional e o asfalto modificado pela adição de borracha moída de pneus.** Universidade Anhembi Morumbi. Monografia de pesquisa. São Paulo SP. 2006. Disponível em: <http://engenharia.anhembi.br/tcc-06/civil-57.pdf> acesso em 30/10/2013.

A transferência de propriedades importantes da borracha ao ligante é prejudicada, embora seja possível agregar melhorias à mistura asfáltica, desde que na sua fabricação seja possível obter uma mistura homogênea.

- **Materiais Utilizados na Produção**

Os materiais utilizados nas misturas são borracha moída de pneus descartados, cimento asfáltico de petróleo (CAP) e aditivos se necessário.

A borracha utilizada no ligante asfalto-borracha pode ser proveniente de pneus de automóveis ou caminhões. Geralmente, pneus de automóveis são compostos por 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.

A granulometria da borracha pode variar com o processo de produção, principalmente em função dos equipamentos e da temperatura de moagem.

A borracha 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 de #40, e outra, composta de partículas que passam na peneira #50 e ficam retidas na peneira #100, denominada de # 50.³¹

O teor ótimo de borracha em camadas de revestimento densas (granulometria fechada) é de cerca de 5% de borracha passada na peneira #80, enquanto que em camadas de revestimento com granulometria aberta o valor mais utilizado é de 12% de borracha passada na peneira #40.

- **Ligante Asfáltico**

É um ligante betuminoso que é gerado pela destilação do petróleo e que tem a propriedade de ser um adesivo, impermeável à água e pouco reativo. A baixa reatividade química a muitos agentes não evita que esse material possa sofrer, no entanto, um processo de envelhecimento por oxidação lenta pelo contato com o ar e a água.

No Brasil utiliza-se a denominação CAP (Cimento Asfáltico de Petróleo) para designar esse produto semi-sólido a temperaturas baixas, viscoelástico à temperatura ambiente e líquido a altas temperaturas, e que se enquadra em limites de consistência para determinadas temperaturas estabelecidas em especificações. A característica de termoviscoelasticidade desse material manifesta-se no comportamento mecânico, sendo suscetível à velocidade, ao tempo e à intensidade de carregamento, e à temperatura de

³¹ ODA, 2000. **Análise da Viabilidade Técnica da Utilização do Ligante Asfalto Borracha em Obras de Pavimentação**. São Carlos: EESC/USP, (2000), 260 f. Tese (Doutorado em Transportes) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 2000, p. 41.

serviço. O comportamento termoviscoelástico é mais comumente assumido do que o termoviscoplastico, com suficiente aproximação do real comportamento do material.³²

Os principais tipos de ligantes asfálticos existentes no mercado são:

Cimento asfáltico de petróleo – CAP: determina a classificação do asfalto de acordo com as suas propriedades físicas, a fim de atender a critérios comerciais com o objetivo de assegurar o bom desempenho do material em sua aplicação.

Asfalto diluído de petróleo – ADP: são produzidos pela adição de um diluente volátil, querosene ou gasolina, com o objetivo de reduzir temporariamente sua viscosidade, facilitando a aplicação, exigindo temperaturas menores do que àquelas exigidas para a aplicação do CAP. Após aplicação os diluentes evaporam. Esta evaporação, chama-se “cura”.

Emulsões asfálticas de petróleo – EAP: A emulsão é definida como uma mistura heterogênea entre dois ou mais líquidos imiscíveis, porém, quando mantidos em suspensão por meio de agitação ou por adição de um agente emulsificante, formam uma mistura estável.

Asfaltos modificados por polímero – AMP: emprega-se modificação por adição de polímeros e a adição de borracha moída de pneus.³³

O Ligante asfáltico mais utilizado para pavimentação com asfalto borracha empregado nas rodovias brasileiras é o CAP50/70 junto com uma camada de concreto asfáltico, formam o ligante mais utilizado.

- **Equipamentos**

Para realizar as misturas de asfalto com a borracha utiliza-se um agitador mecânico.

“O agitador indicado para produtos viscosos, marca FISATOM (modelo 722), com potência de 255 W, 60 Hz, com controle de rotação variando de 530 a 2000 rpm, haste de 600 mm de comprimento e hélice tipo naval de diâmetro de 80 mm.”³⁴

O recipiente para colocar a mistura consiste em uma panela elétrica de cerâmica com controle de temperatura (até 200 °C).

³² BERNUCCI, MOTTA, CERATTI E SOARES, 2008. **PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA. Formação Básica para Engenheiros.** Disponível em: http://www.proasfalto.com.br/pdf/Asfalto_Capitulo_02_Mar2010.pdf acesso em: 27/10/2013.

³³ MATINS, Haroldo A.F., 2004. **A Utilização da Borracha de Pneus na Pavimentação Asfáltica.** Disponível em: <<http://engenharia.anhembri.br/tcc-04/civil-14.pdf>> Acesso em 27/10/2013.

³⁴ ODA, S. **Análise da Viabilidade Técnica da Utilização do Ligante Asfalto Borracha em Obras de Pavimentação.** São Carlos: EESC/USP, (2000), 260 f. Tese (Doutorado em Transportes) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 2000, p. 43.



Figura 13. Agitador Mecânico.

<http://www.hexasystems.com.br/produto/agitador-mecanico-150-litros.aspx>

4.5 - Onde a borracha faz a diferença?

O asfalto ou betume é obtido como resíduo da destilação do petróleo bruto disperso em água, gerando uma emulsão asfáltica. Este cimento asfáltico é utilizado como emulsor de uma mistura (pedra, concreto, metal), com intenso poder agregante, gerando características de coesão, insolubilidade e isolamento térmico e acústico.

A adição de polímeros vindos da borracha de pneus reciclados ao asfalto diminui a suscetibilidade térmica, com isso, aumenta a estabilidade do pavimento em altas temperaturas e diminuindo o risco de fraturas e trincamentos em baixas temperaturas. Confere maior resistência às ações da chuva e proporcionam melhor adesão ao agregado asfáltico. O asfalto borracha torna-se viável economicamente, se levarmos em conta sua durabilidade maior, a estrada que possuir asfalto borracha precisará de reparos em um intervalo de tempo maior do que a que não possui. Além disso, a incorporação da borracha à construção do asfalto implica uma redução da demanda do petróleo para esse fim.

4.6 – Método de Execução

O método de operação de usinagem, a aplicação e compactação da massa na pista, não sofrem modificação em relação ao asfalto convencionalmente executado com ligantes tradicionais, a não ser pela temperatura, que tem uma significativa alteração. As temperaturas utilizadas podem variar de 155°C até 177°C, tanto para o asfalto com 15% de borracha moída de pneus, como para o asfalto com 20% de borracha moída de pneus. Porém a temperatura máxima da aplicação é bem abaixo do limite suportado pelo asfalto borracha, que é de até 210°C.

Durante a produção o tempo de injeção do ligante deve ser ampliado devido sua viscosidade, também se deve aumentar abertura dos bicos injetores de asfalto e colocar filtro de linha adequado ao diâmetro dos pneus moídos. Sem estes cuidados, que necessita rapidez da equipe de produção da massa asfáltica com borracha, não se conseguirá uma mistura homogênea e de qualidade, chegando ao ponto da mistura apresentar insuficiência de ligante e ocorrer desgaste e segregação na pista recém executada.

É recomendável que a massa ao ser descarregada ao silo para o caminhão de transporte apresente uma temperatura máxima de 177°C. Eventualmente a temperatura de compactação da massa já distribuída pode ser realizada a temperatura inferior a 155°C (no caso do asfalto borracha com 15% de Borracha Moída de Pneus), neste caso deve ser observado o grau de compactação mínimo de 97%³⁵.

A temperatura de compactação deve girar em torno dos 155° até 160°C, quando muito quente, deve ficar atento para evitar o trincamento da massa e a formação de ondas à frente do rolo. O empolamento de cada tipo de massa deve ser ajustado no campo, a espessura de massa solta deve se situar em torno de 30% superior a da espessura da massa compactada.

Quanto ao monitoramento das temperaturas no campo, deve se ter uma atenção especial de forma a identificar o momento ideal para o início da rolagem,

³⁵ FERRARA. R. D. *Estudo comparativo do custo benefício entre o asfalto convencional e o asfalto modificado pela adição de borracha moída de pneus*. Universidade Anhembi Morumbi. Monografia de pesquisa. São Paulo SP. 2006. Disponível em: <http://engenharia.anhembi.br/tcc-06/civil-57.pdf> acessado em 30/10/2013.

podendo se empregar termômetros digitais, mas não se esquecendo da confiabilidade dos tradicionais com haste de mercúrio.

A compactação da mistura densa é feita com rolos pneumáticos pesados imprimindo pressão de compressão gradativa à medida que a massa vai se densificando. A compactação vibratória após a compactação pneumática também apresenta ótimo resultado, tanto no aspecto do grau de compactação quanto em termos de acabamento final da camada.



Figura 14. Rolos Pneumáticos compactando asfalto borracha.
<http://averdadedosfatos.com.br/noticia/savi-propoe-reutilizacao-de-pneus-na-construcao-de-asfalto>

A camada aplicada com mistura de borracha de pneus deve ser precedida de uma consistente pintura de ligação, modificada por polímero preferencialmente. Em todos os casos, deverá ser observada a condição de campo, imediatamente antes da aplicação da mistura asfáltica.

4.7 – Asfalto Borracha x Asfalto Convencional

O Brasil não possui uma normal técnica para o asfalto borracha, pois o produto ainda não é usado em larga escala no país. Apesar de já ter sido utilizado em diversas rodovias brasileiras, ele é utilizado muito menos do que o asfalto convencional.

O asfalto borracha é um produto em evidência, estudado em outros países a vários anos, tem se consolidado no Brasil já há alguns anos, evidenciando sua grande vantagem em relação ao asfalto convencional, gerando melhor resistência a oxidação aos pavimentos, os pneus possuem negro de fumo em sua composição, o que torna o asfalto borracha resistente aos raios ultravioleta, e a resistência ao envelhecimento é superior ao asfalto convencional pois apresenta maior viscosidade, deixando o asfalto mais flexível e com menos risco de sofrer deformações.

Falando em termos de durabilidade, o asfalto convencional tem cerca de 3 anos de durabilidade, enquanto o asfalto borracha em testes apresenta durabilidade de até 10 anos.

Outra vantagem do asfalto borracha, ele possui eficácia tanto em altas como em baixas temperaturas, tolerando grandes variações de temperatura. Seu coeficiente de atrito é maior que o asfalto convencional consideravelmente.

O uso do asfalto borracha praticamente não gera trincas por fadiga e trincas nas trilhas de rodas, o que não é o caso do asfalto convencional, que traz consigo esse grave problema, o que gera grandes manutenções em vias e rodovias do país inteiro.

O custo do ligante adicionado com pneus é cerca de 20 a 30% maior no metro cúbico, apesar disso, sua longevidade o torna mais barato que o asfalto convencional, além de proporcionar um pavimento de melhor qualidade.

5 – ESTUDO DE CASO

O foco deste estudo de caso é fazer um levantamento quantitativo de pneus inservíveis gerados pela frota de veículos utilitários da cidade de Caratinga, com isso, fazer um levantamento do potencial de quilometragem que esse pneus, misturados ao asfalto convencional pode render para pavimentar as ruas da cidade que necessitem ser asfaltadas.

5.1 – Materiais e Métodos

Segundo dados do mês de julho de 2013 do DENATRAN (Departamento Nacional de Trânsito), a frota de veículos de Caratinga é de 33.104 (trinta e três mil e cento e quatro). Onde: Automóveis utilitários: 16.735 veículos. Outros: 16.369 veículos.³⁶

Foi utilizado como base de cálculos para este trabalho a frota de automóveis utilitários de Caratinga (16.735 veículos) pelo fato de serem os principais a serem reaproveitados no asfalto borracha.

Em uma primeira etapa, pesou-se uma amostra de pneus inservíveis (de maneira aleatória) com o objetivo de estimar um peso médio para o pneu usado. A tabela 1 contém os resultados encontrados:

	Peso de Cada Amostra, em Kg					
Local	M1	M2	M3	M4	M5	Média
C.A.Magalhães	6,90	6,10	6,43	7,61	7,18	6,84
Pneu Leste	6,32	5,84	7,12	6,98	6,81	6,61
	Media Total = 6,72 kg					

Tabela 1. Peso bruto de amostra de pneus usados. Fonte: Acervo Particular do Pesquisador.

³⁶ DENATRAN. Frota de veículos de Caratinga. Disponível em: <<http://www.denatran.gov.br/frota2013.htm>> acesso em 27/10/2013.

A partir do levantamento acima se pode observar que, de maneira geral, o peso médio de um pneu usado de um automóvel utilitário é de aproximadamente 6,72 kg. Esse valor será utilizado mais adiante como base de cálculos.



Figura 15. Amostra de Pneus inservíveis pesados para cálculo de estudo de caso. Fonte: Acervo Particular do Pesquisador.

A segunda fase de obtenção de dados diz respeito à medição da largura de algumas ruas de Caratinga, para se ter uma largura padrão de rua. A tabela a seguir mostra os resultados:

Nome da Rua	Largura (m)
Av. Catarina Cimini	16,30
Praça Cesário Alvim	7,20
Rua João Pinheiro	6,40
Av. Olegário Maciel	13,00
Rua Raul Soares	6,93
Média Total	9,96

Tabela 2. Média da Largura das principais ruas de Caratinga. Fonte: Acervo Particular do Pesquisador.

Outro fator de extrema importância na confecção do asfalto ecológico é a composição química dos pneus. A Tabela 3 apresenta a porcentagem em massa de cada componente de um pneu típico de automóvel utilitário:

	Automóvel
Material	Porcentagem (%)
Borracha/Elastômeros	48
Negro de Fumo	22
Aço	15
Tecido de Nylon	5
Oxido de Zinco	1
Enxofre	1
Aditivos	8

Tabela 3: Porcentagem em massa dos componentes dos pneus (Andrietta, 2002, p.53)

5.2– Resultados e Discussões

A partir das medidas das massas dos pneus, obteve-se um valor médio de 6,72 kg. Portanto, resolvendo a equação (1) obteremos a massa de borracha que será utilizada no asfalto. Equação (1):

$$\text{Massa reciclável (Mr)} = \text{Peso bruto pneu} \times \text{Massa de borracha do pneu(\%)}$$

Temos que:

$$\text{Mr} = 6,72 \times 0,48 = 3,22 \text{ kg}$$

Portanto, a massa reciclável é de 3,22 kg por pneu.

A partir da Massa Reciclável por pneu (Mr), podemos calcular a Massa Reciclável Total (Mrt) tendo como base o número de carros utilitários da cidade de Caratinga.

“A média de vida útil de um pneu é de 45 mil quilômetros rodados”.³⁷

³⁷ REVISTA QUATRO RODAS, 2009. **O seu Pneu Pode durar Mais**. Disponível em: <http://quatorodas.abril.com.br/autoservico/reportagens/como-fazer-pneu-durar-mais-479128.shtml> acesso em: 29/10/2013.

“No Brasil, um carro roda, em média, 20 mil quilômetros por ano”.³⁸

Considerando estes dados, a média é que, a cada 2 anos e 3 meses os 4 pneus dos veículos devem ser trocados. Com isso gera-se 4 pneus inservíveis por veículo para que os mesmo sejam utilizados para produção do asfalto borracha para asfaltar as ruas da cidade de Caratinga.

Com esses dados temos que a equação (2) será:

$$\text{Massa Reciclável Total (Mrt)} = \text{Mr} \times \text{n}^{\circ} \text{ carros} \times \text{n}^{\circ} \text{ pneus por carro}$$

Temos que:

$$(\text{Mrt}) = 3,22 \times 16.735 \times 4 = 215.546 \text{ kg de borracha.}$$

Portanto para o total de carros da cidade de Caratinga, teremos uma massa reciclável total (Mrt) de 215.546 kg de borracha.

“A adição de borracha de pneus inservíveis misturada ao ligante asfáltico varia de 15 a 25% da mistura total do revestimento.”³⁹

Considerando uma média de 20% de borracha na mistura asfáltica, teremos a massa de asfalto borracha total. Equação (3):

$$\text{Massa de Asfalto Borracha - (M, ab)} = \text{Mrt} / 0,2$$

Temos que:

$$(\text{M, ab}) = 215.546 / 0,2 = 1.077.734 \text{ kg.}$$

A massa total de asfalto borracha (M, ab) obtido é de 1.057.096 kg.

“Normalmente, cerca de 1.000 pneus são utilizados na pavimentação de um quilômetro de estrada, com largura padrão de 7 metros, porém esse valor pode variar, dependendo da largura e espessura da camada”.⁴⁰

Sabendo que 1000 pneus inservíveis produzem 1 km de asfalto, em uma pista de 7 metros de largura, em uma pista de 9,96 metros de largura será necessário a utilização de 1422 pneus inservíveis.

³⁸ FOLHA DE SÃO PAULO, 2011. **Livraria da Folha**. Disponível em: <http://www1.folha.uol.com.br/livrariadafolha/1022048-veja-dicas-para-trocar-de-carro-em-2012.shtml>> acesso em: 29/10/2013.

³⁹ FERRARA. R. D. **Estudo comparativo do custo benefício entre o asfalto convencional e o asfalto modificado pela adição de borracha moída de pneus**. Universidade Anhembi Morumbi. Monografia de pesquisa. São Paulo SP. 2006. Disponível em: <http://engenharia.anhembi.br/tcc-06/civil-57.pdf> acesso em 30/10/2013.

⁴⁰ GRECA ASFALTOS. LINHA **ECOFLEXPAVE, 2009**. Disponível em: http://www.flexpave.com.br/leiamais_ecoflex/13_estudo_ecoflex_2009.pdf> acesso em 21/11/2013.

Para estabelecer um quilômetro padrão neste trabalho, foi utilizado as seguintes medidas: 1000 m de comprimento, 9.96 m de largura e 5,00 cm de espessura.

Equação (4):

$$1000 \text{ m} \times 9.96 \text{ m} \times 0,05 \text{ m} = 498 \text{ m}^3 \text{ de asfalto.}$$

Portanto, o volume padrão de 498 metros cúbicos de asfalto, a média de 1.422 pneus é utilizada. Com 66.940 pneus será gerado um volume de 23.443 metros cúbicos de asfalto a cada 2 anos e 3 meses, considerando a média de vida útil de um pneu de automóvel utilitário.

Utilizando-se o rendimento anterior e o total de pneus da frota de automóveis utilitários da cidade de Caratinga (66.940), é possível se pavimentar 47 km de vias da cidade a cada 2 anos e 3 meses. Considerando esses dados, por ano é possível se pavimentar 21 km de vias.

A principal intenção ao realizar esse trabalho é encontrar uma solução alternativa para eliminação dos pneus, uma vez que é muito comum vermos o descarte inapropriado desses objetos em rios e lixões, prejudicando o meio ambiente.

6 – CONCLUSÃO

O Brasil é um país dependente do transporte rodoviário, por isso necessita de uma infra-estrutura de estradas de boa qualidade para manter um nível de produtividade adequado e um pavimento seguro aos veículos.

O asfalto borracha é um produto em evidencia, já testado em outros países e com crescimento em grande escala no Brasil, já sendo utilizado em varias rodovias pelo país.

Além da grande vantagem em relação ao asfalto convencional, o asfalto borracha da um fim sustentável a um grande problema de descarte de pneus inservíveis no meio ambiente.

A implantação desta tecnologia na cidade de Caratinga é de grande valia para todos que vivem nesta região, além de gerar um pavimento de ótima qualidade, vai retirar pneus inservíveis do meio ambiente, onde são vetores de doenças, que prejudicam a saúde da população.

REFERÊNCIAS:

ANIP - **Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos**, (2010), http://www.anip.com.br/index.php?cont=detalhes_noticias&id_noticia=485&area=43&titulo_pagina=%DAltimas%20Not%EDcias) acesso em 17/10/2013.

ABEDA – **Associação Brasileira das Empresas Distribuidoras de Asfalto. Meias Verdades – Asfalto: de repente o grande vilão.** Disponível no site: <http://www.abeda.org>. acesso em 30/10/2013.

ANDRIETTA, Antônio J. **Tipos de reciclagem – Pneus.** Disponível no site: http://www.inicepg.univap.br/cd/INIC_2010/anais/arquivos/0908_0988_01.pdf; acesso em 17/10/2013.

BALBO. J. T, 2007. **PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA. Materiais, projeto e restauração.** Oficina de textos. São Paulo, SP. 2007.

BERNUCCI, MOTTA, CERATTI E SOARES, 2008. **PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA. Formação Básica para Engenheiros.** Disponível em: http://www.proasfalto.com.br/pdf/Asfalto_Capitulo_02_Mar2010.pdf acesso em 27/10/2013.

BERTOLLO, S. A. M.; FERNANDES JR., J. L.; SHALCH, V. 2002. **Benefícios da Incorporação de Borracha de Pneus em Pavimentos Asfálticos.** Disponível em: <http://resol.com.br/textos/Reciclagem%20de%20pneus.pdf> acesso em: 22/10/2013

BNDES, 2007. **Banco Nacional do Desenvolvimento.** Disponível no site: http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivo/s/conhecimento/bnset/set2504.pdf acesso em 18/10/2013.

BOLSA DE RECICLAGEM DO SISTEMA FIEP. **Reciclagem de Pneus.** Disponível no Site:

http://ambientes.ambientebrasil.com.br/residuos/reciclagem/reciclagem_de_pneus.html acesso em 23/10/2013.

DENATRAN. Frota de veículos de Caratinga. Disponível em: <<http://www.denatran.gov.br/frota2013.htm>> acesso em 27/10/2013.

FERRARA. R. D, 2006. **Estudo comparativo do custo benefício entre o asfalto convencional e o asfalto modificado pela adição de borracha moída de pneus.** Universidade Anhembi Morumbi. Monografia de pesquisa. São Paulo SP. 2006. Disponível em: <http://engenharia.anhembi.br/tcc-06/civil-57.pdf> acesso em 30/10/2013.

FERRARI, RIBEIRO E OLIVEIRA. **Potencial de Utilização de Pneus Usados em Pavimentação** Asfáltica no BRASIL. Disponível em: <<http://observatorioderesiduos.com.br/wp-content/uploads/2010/10/JeanineFerrari.pdf>> acesso em 20/11/2013.

FOLHA DE SÃO PAULO, 2011. **Livraria da Folha.** Disponível em: <http://www1.folha.uol.com.br/livrariadafolha/1022048-veja-dicas-para-trocar-de-carro-em-2012.shtml>> acesso em 29/10/2013.

GRECA ASFALTOS. **LINHA ECOFLEXPAVE, 2009.** Disponível em: <http://www.flexpave.com.br/leiamais_ecoflex/13_estudo_ecoflex_2009.pdf> acesso em 21/11/2013.

GRECA, M. R. **Considerações Relacionadas ao Asfalto Ecológico** – Ecoflex. IEP, Apostila sobre Asfalto Borracha, Instituto de Engenharia do Paraná. 2003.

HARRIGAN, E. T.; R. B. LEAHY; J. S. YOUTCHEFF, (1994) **The Superpave Mix Design System Manual of Specifications, Test Methods, and Practices.** SHRP-A-379. Strategic Highway Research Program. National Research Council. Washington, DC.

HEITZMAN, M. (1992) **State of the Practice. Design and Construction of Asphalt Paving Materials with Crumb Rubber Modifier**. Federal Highway Administration. FHWA-SA-92-022. Final Report.

LAGARINHOS, 2008. **Tecnologias utilizadas para a reutilização, reciclagem e valorização energética de pneus no Brasil**. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0104-14282008000200007&script=sci_arttext> acesso em 05/11/2013.

MANUAL DO DNIT, 2006. DISPONIVEL EM: [http://www1.dnit.gov.br/arquivos_internet/ipr/ipr_new/manuais/Manual de Pavimentacao Versao Final.pdf](http://www1.dnit.gov.br/arquivos_internet/ipr/ipr_new/manuais/Manual_de_Pavimentacao_Versao_Final.pdf). ACESSO EM 21/10/2013

MATINS, Haroldo A.F., 2004. **A Utilização da Borracha de Pneus na Pavimentação Asfáltica**. Disponível em: <<http://engenharia.anhembis.br/tcc-04/civil-14.pdf>> Acesso em 27/10/2013.

Michelin pneus, disponível em: <http://www.michelin.pt/pneus-turismo/conselhos/tudo-sobre-o-pneu/o-que-compoe-um-pneu> acesso em 18/10/2013.

MORILHA JR., A.; DANTAS, G. A.; BARROS, R. M. V.. **Aplicações Práticas de Ligante Asfáltico Modificado por Borracha de Pneus de Alta Viscosidade**, In: 11ª REUNIÃO DE PAVIMENTAÇÃO URBANA, (2003), Rio de Janeiro, RJ.

ODA, S. **Análise da Viabilidade Técnica da Utilização do Ligante Asfalto Borracha em Obras de Pavimentação**. São Carlos: EESC/USP, (2000), 260 f. Tese (Doutorado em Transportes) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 2000.

Orsi e Simon. **Asfalto Borracha. Uma Alternativa Ambiental para Pneus em Desuso**. Disponível em <http://www.ufrgs.br/ensinodareportagem/meiob/asfaltob.html> acesso em: 23/10/2013.

Parra, Nascimento, Ferreira. **Reutilização e Reciclagem de Pneus, e os problemas causados por sua destinação Incorreta**. Universidade Nove de Julho/Pós Graduação em Engenharia Ambiental. Disponível em: http://www.inicepg.univap.br/cd/INIC_2010/anais/arquivos/0908_0988_01.pdf acesso em: 23/10/2013.

PETROBRÁS, Distribuidora; Petróleo Brasileiro S/A; Colinas Experimenta. **Asfalto Ecológico**, (2003), CONCESSIONÁRIA RODOVIAS DAS COLINAS - DESTAQUES, SP.

REIS, C; FERRÃO, P. PROTAP: **Produção, utilização e opções de fim de vida para os pneus**. Lisboa: Instituto Superior Técnico, 2000. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_nlinks&ref=000250&pid=S0104-1428200800020000700012&lng=en> acesso em: 23/10/2013.

RESENDE, E. **Canal de Distribuição Reverso na Reciclagem de Pneus: Estudo de Caso**. 2004. Dissertação (Mestrado) - Pontífca Universidade Católica. Rio de Janeiro. 2004. Disponível em: http://www2.dbd.pucRio.br/pergamum/tesesabertas/0212208_04_pretextual.pdf acesso em: 23/10/2013.

RESOLUÇÃO CONAMA 416, DE 30 DE SETEMBRO DE 2009

Disponível em: <http://servicos.ibama.gov.br/ctf/manual/html/res_con_416_09.pdf>
Acesso em: 23/10/2013.

REVISTA QUATRO RODAS, 2009. **O seu Pneu Pode durar Mais**. Disponível em: <http://quatorodas.abril.com.br/autoservico/reportagens/como-fazer-pneu-durar-mais-479128.shtml> acessado em 29/10/2013.

RIBEIRO, Cléa Maria da Cunha. **Gerenciamento de pneus inservíveis: Coleta e destinação final**. Dissertação. Mestrado. Centro Universitário Senac. São Paulo. 2005. Disponível em: <<http://biblioteca.sp.senac.br/LINKS/acervo238406/Clea%20Maria%20da%20Cunha%20Ribeiro.pdf>> acesso em: 23/10/2013.

RUTH, E. B.; M. Tia; G. Jonsson; J. C. Setze (1997) **Recycling of Asphalt Mixtures Containing Crumb Rubber**. University of Florida. Florida. Department of Transportation. Final Report. FL/DOT/MO/D510717.

SALINI, Reus Bortolotto. **Utilização de Borracha Reciclada de Pneus em Misturas Asfálticas**. 2000. Dissertação apresentada para obter o título de Mestre em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

SANDRONI, M.; PACHECO, E. B.A V. **O Destino Dos Pneus Inservíveis**. 2005. Site <<http://www.niead.ufrj.br/artigoelen.htm>>. Acesso em 23/10/2013.

SOUZA, Renata Tatiana. **Análise da logística reversa de pneus usados e inservíveis e seus impactos ambientais quando descartados Inadequadamente**. Monografia. Tecnólogo em Logística. Faculdade de tecnologia da zona leste. São Paulo. 2009. Disponível em < <http://fateczl.edu.br/TCC/2009-1/tcc-233.pdf>>, acesso em 23/10/2013.