

FACULDADE BRASILEIRA – UNIVIX  
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO CIVIL

**CELSO BRÁULIO ALVES MENDES  
FABIO RINALDI NUNES**

ASFALTO BORRACHA - MINIMIZANDO OS IMPACTOS AMBIENTAIS GERADOS  
PELO DESCARTE DE PNEUS INSERVÍVEIS NO MEIO AMBIENTE

VITÓRIA  
2009



CELSO BRÁULIO ALVES MENDES  
FABIO RINALDI NUNES

**ASFALTO BORRACHA – MINIMIZANDO OS IMPACTOS AMBIENTAIS  
GERADOS PELO DESCARTE DE PNEUS INSERVÍVEIS NO MEIO AMBIENTE**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado como exigência parcial  
para a obtenção do título de Graduação do  
Curso de Engenharia de Produção-Civil  
da Faculdade Brasileira - UNIVIX.

Orientador: Prof. M.Sc Roosevelt S.  
Fernandes

VITÓRIA

2009  
FACULDADE BRASILEIRA – UNIVIX  
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO CIVIL

Celso Bráulio Alves Mendes  
Fabio Rinaldi Nunes

**ASFALTO BORRACHA – MINIMIZANDO OS IMPACTOS AMBIENTAIS NO  
MEIO AMBIENTE GERADOS PELO DESCARTE DE PNEUS INSERVÍVEIS**

Monografia aprovada em \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_ para obtenção do título de Bacharel em  
Engenharia de Produção Civil.

Banca Examinadora:

---

Prof. M.Sc. Roosevelt S. Fernandes

Faculdade Brasileira

---

Prof. Dr. Keydson Quaresma Gomes

Faculdade Brasileira

---

Prof. André Luís de Souza

Faculdade Brasileira

## DEDICATÓRIA

Aos nossos pais, familiares e amigos  
pela compreensão e incentivo em todos  
os momentos.

## AGRADECIMENTOS

Aos nossos pais e irmãos por todo amor, dedicação e paciência durante essa jornada.

Imenso agradecimento ao engenheiro Roberto Bruce Bargiona Luz, Erggluz Engenharia e que forneceram grandes auxílios para a construção deste trabalho.

À empresa Erggluz Engenharia LTDA. Por ter fornecido grande parte dos materiais disponibilizados nessa monografia.

Aos nossos companheiros de trabalho pela compreensão e estímulo sempre quando necessário.

Aos nossos amigos que de forma direta ou indiretamente colaboraram para a elaboração desta monografia.

Nossos especiais agradecimentos ao nosso orientador Professor M.Sc. Roosevelt Fernandes pela dedicação, paciência e incentivo.

## PENSAMENTO

Tomou, pois, o Senhor Deus ao homem e o colocou no jardim do Éden para cultivar e guardar, utilizar e proteger, desenvolver e preservar."(Gênesis 2,15)

## RESUMO.

Com um mundo cada vez mais preocupado com a degradação do meio ambiente, autoridades vêm pesquisando maneiras de amenizar os efeitos ambientais causados pela disposição humana. Este trabalho apresenta um estudo, e uma possível solução, para esse contexto. A inserção de borracha de pneus no CBUQ (Concreto Betuminoso Usinado a Quente), material mais utilizado em obras de pavimentação, vem crescendo em todo o planeta. O resultado dessa mistura assegurou um material muito mais durável, e melhor qualidade, o Asfalto Borracha. Porém o alto custo em relação ao asfalto convencional, e a falta de mão de obra qualificada ainda são empecilhos para sua ampla adoção.

**Palavras-chave:** Meio Ambiente, CBUQ (Concreto Betuminoso Usinado à Quente), Obras de Pavimentação, Asfalto Borracha.



## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1: O Pavimento
- Figura 2: Seção Típica de um Pavimento Rígido. (Marques, 2002)
- Figura 3: Corpo de Prova de um Pavimento (Petrobás, 2005).
- Figura 4: Ciclo dos Pneus Inservíveis no Mundo
- Figura 5: Processo Seco de Incorporação de Borracha em Misturas Asfálticas.
- Figura 6: Esquema do Processo Úmido.
- Figura 7: Como Funciona Uma Usina de Asfalto Borracha

## LISTA DE TABELAS

- Tabela 1: Terminologia das Bases
- Tabela 2: Tempo que a Natureza Demora a Degradar os Materiais.
- Tabela 3: Faixa Granulométrica Do Asfalto Borracha.
- Tabela 4: Traço Do Asfalto Borracha.

## LISTA DE FOTOS

- Foto 1: Trincas por Fadiga.
- Foto 2: Deformação Permanente nas Trilhas da Roda.
- Foto 3: Depósito de Pneus Inservíveis Nos Estados Unidos.
- Foto 4: Pneus Sendo usados Como Cadeiras e Mesas.
- Foto 5: Pneus Sendo Usados Como Vasos de Plantas.
- Foto 6: Pneus Sendo Usados Como Cadeiras e Objetos de Decoração.
- Foto 7: Pneus Sendo Usados Como Contorno de Taludes.
- Foto 8: Emenda dos Dois Tipos de Pavimentos: (1) CBUQ – Convencional e (2) Modificado com Borracha de Pneus.
- Foto 9: Avenida Atlântica em Copacabana no Rio de Janeiro Pavimentado com Asfalto Borracha.
- Foto 10: Vibro - Acabadora de Asfalto Recebendo a Mistura Asfalto Borracha de Um Caminhão Basculante.
- Foto 11: Vibro – Acabadora espalhando o Asfalto Borracha.
- Foto 12: Rolo Pneumático Compactando a Mistura.
- Foto 13: Rolo de Chapa Compactando e Dando o Acabamento Final ao Asfalto Borracha Recém Aplicado.
- Foto 14: Pneus Sendo Levados Através de Esteiras Para a Moagem.
- Foto 15: O Pneu no Moedor e Também os Tambores Magnéticos Separando o Aço Contido nos Pneus da Borracha.
- Foto 16: Borracha Proveniente do Pneu Pronta Para Ser Usinada e Inserida no CBUQ.
- Foto 17: Simulador de Tráfego da UFRGS.
- Foto 18: Placas de CBUQ e Asfalto Borracha Após Simulador de Tráfego (Ornêur).

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Evolução Da Porcentagem de Fissuras.

Gráfico 2: Custo de Manutenção.

# SUMÁRIO

<b>1 O PROBLEMA</b> .....	14
1.1 INTRODUÇÃO.....	14
1.2 OBJETIVOS .....	15
<b>1.2.1 Objetivo Geral</b> .....	15
<b>1.2.2 Objetivos Específicos</b> .....	15
1.3 JUSTIFICATIVA.....	16
<b>1.3.1 Pessoal</b> .....	16
<b>1.3.2 Institucional</b> .....	16
<b>1.3.3 Social</b> .....	16
1.4 HIPÓTESE.....	17
1.5 DELIMITAÇÃO DO ESTUDO.....	17
1.6 RELEVÂNCIA DO ESTUDO.....	17
1.7 DEFINIÇÃO DOS TERMOS.....	18
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	19
2.1 O PAVIMENTO.....	19
<b>2.1.1 Pavimentos rígidos</b> .....	21
<b>2.1.2 Pavimentos semi-rígidos ou semi-flexíveis</b> .....	21
<b>2.1.3 Pavimentos flexíveis</b> .....	22
2.2 PATOLOGIAS ENCONTRADAS NO PAVIMENTO.....	24
<b>2.2.1 Trincas por fadiga</b> .....	24
<b>2.2.2 Deformações permanentes</b> .....	24
2.3 PROBLEMAS DA BORRACHA NO MEIO AMBIENTE.....	25
2.4 REAPROVEITAMENTO DOS PNEUS USADOS.....	27
2.5 ASFALTO BORRACHA.....	31
<b>2.5.1 Descrição</b> .....	31
<b>2.5.2 O Asfalto Borracha no mundo</b> .....	33
<b>2.5.3 O Asfalto Borracha no Brasil</b> .....	34
<b>2.5.4 Equipamentos para a aplicação do Asfalto Borracha</b> .....	35
2.6 TECNOLOGIAS DE USINAGEM.....	38
2.7 A USINA DE ASFALTO BORRACHA.....	39
2.8 DURABILIDADE.....	42
2.9 CUSTO.....	46
2.10 VANTAGENS.....	47
2.11 DESVANTAGENS.....	48
<b>3 METODOLOGIA</b> .....	49
<b>4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS</b> .....	50
<b>5 CONCLUSÃO</b> .....	52
<b>6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	53
<b>7 ANEXOS</b> .....	56

# 1 O PROBLEMA

## 1.1 INTRODUÇÃO

Pode-se dizer que o descarte de pneus usados é um dos maiores problemas ambientais da atualidade. O aproveitamento desse material em obras de engenharia está se tornando uma boa alternativa de uso, desde que o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), através da Resolução nº 258/99, obrigou os produtores e importadores de pneus a coletá-los e destina-los em locais ambientalmente adequados. Além disso, ficou estabelecido que a partir de 2005, para cada quatro pneus produzidos, cinco deverão ser reciclados, como uma forma de reduzir o passivo ambiental decorrente da destinação final inadequada de tal material.

Preocupado com o crescimento de tal passivo ambiental, que leva quase 1.000 anos para degradar-se, no início dos anos 60, Charles Mc Donald desenvolveu um processo que incorporava borracha moída de pneus ao asfalto, melhorando as características deste último e dando um destino adequado a uma grande quantidade de pneus que seria descartada, possivelmente, sem grandes cuidados do ponto de vista ambiental.

A massa asfáltica obtida com o emprego do ligante, então batizado de asfalto-borracha, apresenta maior durabilidade, menor tendência à deformações permanentes, mais elasticidade, maior resistência à intempéries e maior resistência à fadiga quando comparadas ao emprego do asfalto convencional, em termos de pavimentos mais duráveis e de melhor qualidade.

## 1.2 OBJETIVOS.

### 1.2.1 Objetivo Geral.

O objetivo do trabalho é mostrar como é possível inserir o pó de borracha originado de pneus inservíveis de modo a minimizar os impactos ambientais decorrentes da destinação não adequada dos mesmos e, conseqüentemente, melhorar o desempenho do CBUQ.

### 1.2.2 Objetivo Específico.

- Mostrar que a borracha sintética que compõem os pneus impacta o meio ambiente quando não há uma destinação ambientalmente adequada dos mesmos.
- Mostrar que o Brasil está defasado em relação aos países desenvolvidos no que concerne à implantação do Asfalto Borracha.
- Avaliar e comparar o CBUQ (Concreto Betuminoso Usinado à Quente) com as propriedades do Asfalto Borracha.
- Contribuir para a divulgação e aplicação, particularmente no Espírito Santo, desta tecnologia de utilização da borracha de pneus em misturas asfálticas para produzir pavimentos mais duráveis, com reflexos positivos em relação ao problema da disposição final de pneus velhos em locais inadequados.
- Desenvolver um comparativo financeiro preliminar, entre o CBUQ e o Asfalto Borracha.

## 1.3 JUSTIFICATIVA

### 1.3.1 Pessoal

Esta pesquisa é motivada pela sensibilidade dos autores em face ao impacto causado pelo descarte de pneus inservíveis no meio ambiente. Aspira-se com essa pesquisa apresentar um estudo de aproveitamento desses pneus, para que se possam minimizar tais impactos, aliado ao fato de que a inserção da borracha do pneu no CBUQ torna o mesmo muito mais durável.

### 1.3.2 Institucional

Esta pesquisa irá contribuir para a conscientização das empresas sobre a importância da consciência ambiental e poderá colocar a Faculdade Brasileira (UNIVIX) como referência, no Espírito Santo, em debates de estudos realizados sobre o Asfalto Borracha.

### 1.3.3 Social

Promover a discussão sobre como reaproveitar os pneus inservíveis no CBUQ e contribuir para o bem-estar e qualidade de vida da sociedade.



## 1.4 HIPÓTESE

A hipótese desta pesquisa é mostrar que se consegue diminuir o volume de borracha decorrente de pneus usados, lançada no meio ambiente, misturando a mesma no Asfalto Convencional, melhorando seu desempenho, e a vida útil dos pavimentos.

## 1.5 DELIMITAÇÃO DO ESTUDO

- Este trabalho limita-se a avaliar as características do Asfalto Borracha com um percentual de 15 a 20% (quinze a vinte por cento) do seu peso de mistura de pó de pneus inutilizados.
- Devido às vantagens do processo via úmido em comparação à via seco todas as informações desta pesquisa, como: custo, vantagens, usinagem, desvantagens, etc. são baseados no processo explicitado acima.

## 1.6 RELEVÂNCIA DO ESTUDO

A mistura do pó de borracha decorrente da pulverização de carcaças de pneus inservíveis no Asfalto Convencional torna o pavimento muito mais flexível, aumenta a coesão entre os agregados e aumenta a vida útil do mesmo, desta

maneira diminuir o impacto ambiental gerado pelo acúmulo de pneus inservíveis (sem destinação adequada) na natureza.

## 1.7 DEFINIÇÃO DOS TERMOS

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente.

CBUQ – Concreto Betuminoso Usinado à Quente

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 O PAVIMENTO.

O pavimento é uma estrutura das rodovias divididas em camadas, construída sobre uma fundação, denominada de subleito. Geralmente, as camadas mais próximas da superfície têm melhores características e custos de implantação mais elevados.

Estruturalmente falando, a camada mais importante é a base. Sobre ela, para suportar os efeitos destrutivos do tráfego e das intempéries, está a camada de rolamento. Abaixo da base, como transição da base ao subleito, pode haver uma sub-base e/ou um reforço do subleito, como mostrado na figura a seguir.

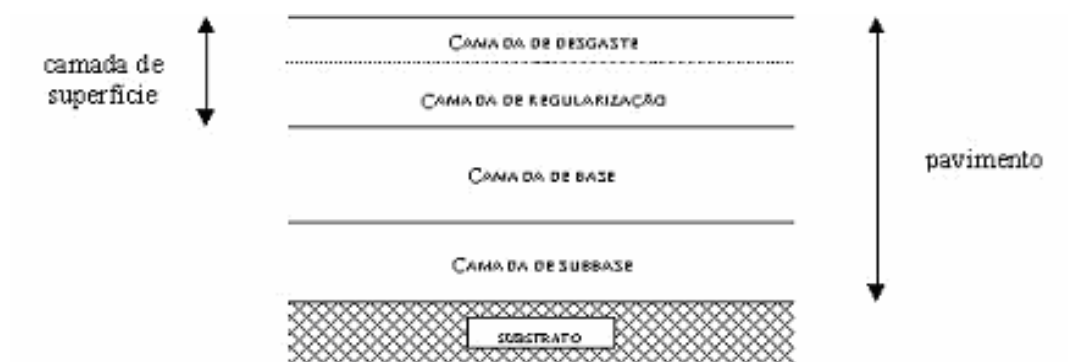


Figura 1: O Pavimento

Do ponto de vista funcional, o pavimento tem a tarefa de suportar o tráfego e fornecer segurança aos usuários. Essa função está intimamente relacionada com o estado que a superfície de rolamento se encontra. A durabilidade das camadas de rolamento, por sua vez, depende das intempéries, da intensidade do tráfego e também das características estruturais do pavimento.

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

- Resistir e distribuir ao subleito esforços verticais provenientes do tráfego;

- Melhorar as condições de rolamento quanto à comodidade e segurança;
- Resistir aos esforços horizontais, tornando o mais durável possível a superfície de rolamento.

Os pavimentos são classificados segundo suas estruturas:

- Pavimentos rígidos;
- Pavimentos semi-rígidos, também chamados de semi-flexíveis;
- Pavimentos flexíveis.

Os pavimentos rígidos são aqueles que sofrem poucas deformações; são constituídos principalmente de cimento de concreto.

Os pavimentos flexíveis são aqueles que as deformações não levam (aé certo limite) ao rompimento.

Os revestimentos são constituídos por dois tipos de bases, com suas respectivas condições, como vemos na Tabela 1 a seguir:

Bases	Rígidas	Concreto de cimento	
		Macadame de cimento	
		Solo-cimento	
	Flexíveis	Solo estabilizado	Granulometricamente
			Solo-betume - Solo-cal
			Solo-brita
		Macadame hidráulico	
		Brita graduada com ou sem cimento	
		Macadame betuminoso	
		Alvenaria poliédrica	
		Paralelepípedos	
		por aproveitamento	

Fonte: SENÇO, 1997

Tabela 1: Terminologia Das Bases

### 2.1.1 Pavimentos Rígidos:

Pode-se definir um pavimento rígido como aquele que apresenta uma camada de revestimento com rigidez muito superior às demais camadas inferiores, a qual absorve todas as tensões provenientes da passagem do tráfego.

Segundo Rodrigues (1995), a placa de concreto de Cimento Portland é o principal componente estrutural, aliviando as tensões nas camadas subjacentes devido a sua rigidez à flexão, quando são gerados elevados esforços de tração na placa. Na Figura 3 vemos um exemplo de um pavimento rígido.

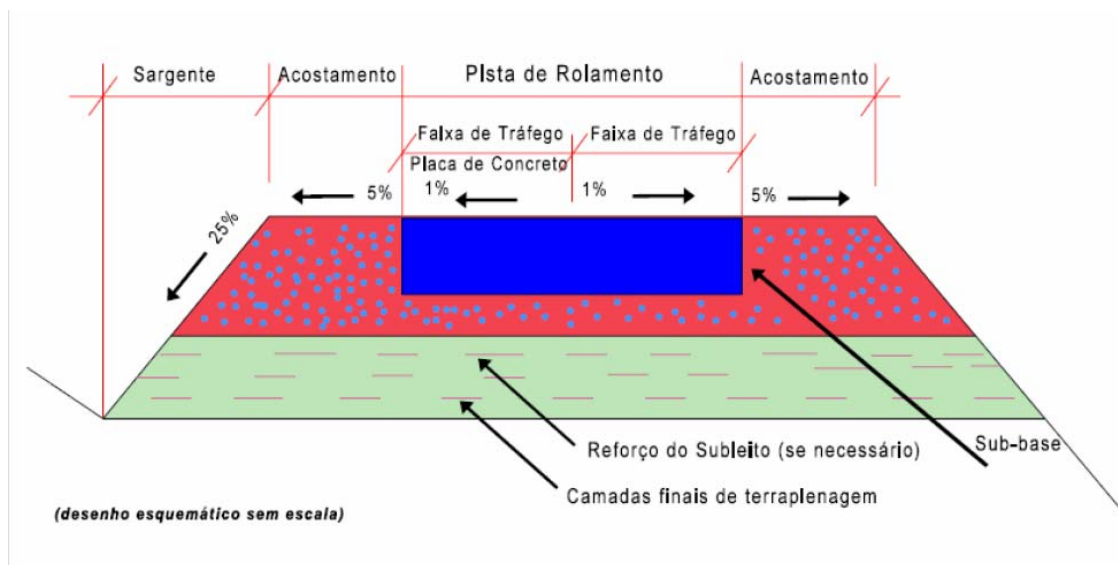


Figura 2: Seção típica de um pavimento rígido. (MARQUES, 2002)

### 2.1.2 Pavimentos Semi-Rígidos ou Semi-Flexíveis.

Pode ser considerada uma situação intermediária entre os pavimentos rígidos e flexíveis. É o caso dos pavimentos constituídos, nas camadas de base ou sub-base, por misturas de solo-cimento, solo-cal, solo-betume, entre outras, que venham a apresentar uma considerável resistência a tração (Marques, 2002; Pinto & Preussler, 2002).

Segundo Medina (1997), perdeu o sentido a definição das camadas quanto às suas funções específicas e distintas uma da outra, à medida que se passou a analisar o pavimento como um sistema de camadas, calculando as tensões e deformações como sendo um conjunto.

Poém, se pode afirmar que não existe um determinado tipo de pavimento que seja considerado melhor solução técnica e econômica em todas as situações. Em um projeto é recomendável analisar todas as alternativas tecnicamente possíveis de seções de pavimentos, deixando a escolha final para as análises econômicas e de viabilidade operacional (Rodrigues 1995).

### 2.1.3 Pavimentos Flexíveis.

Pavimentos flexíveis são aqueles que as deformações, até um certo limite, não o levam a ruptura, constituído principalmente por materiais betuminosos. Podeá ser composto por diversas camadas como: subleito, reforço do subleito, sub-base, base e revestimento (Serra, 1997).

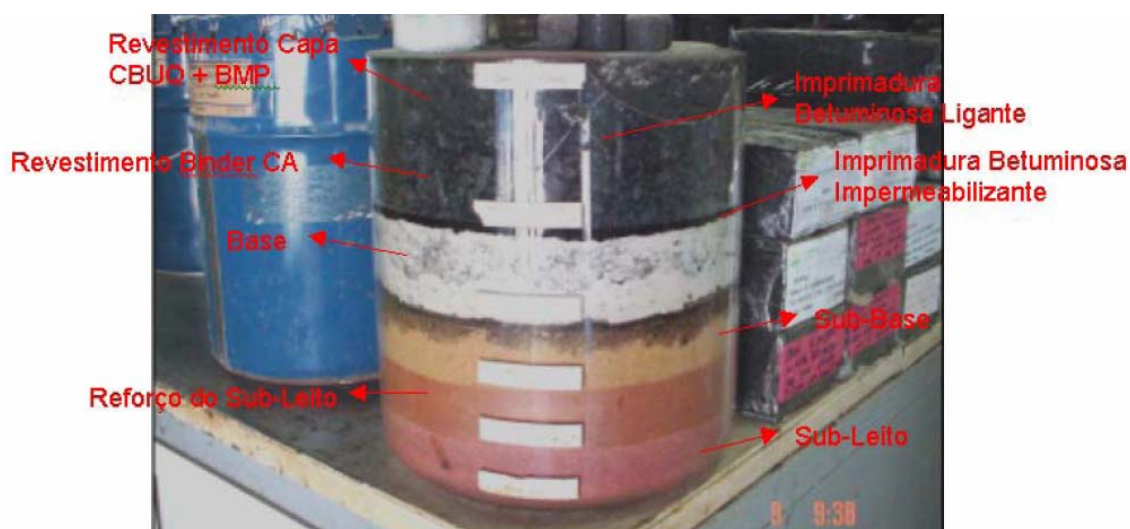


Figura 3: Corpo de prova de um pavimento (Petrobrás, 2005).

No caso dos pavimentos flexíveis, o revestimento, geralmente, é formado pela combinação de ligante asfáltico e agregado mineral (pó de pedra, brita,) (mistura

asfáltica), podendo conter ainda material de preenchimento (filler mineral), aditivos etc. O ligante pode ser um cimento asfáltico ou um cimento asfáltico modificado e suas principais funções são: atuar como um elemento de ligação, colando as partículas minerais; agindo assim como um agente impermeabilizante do pavimento.

Uma mistura asfáltica deve ser resistente, às condições climáticas, à erosão causada pela água da chuva e ao impacto e tenaz. O desempenho de uma mistura, como por exemplo, o concreto betuminoso usinado a quente, CBUQ (também denominado concreto asfáltico usinado a quente, CAUQ), depende tanto das propriedades de seus componentes individuais, da relação entre ligante e agregado mineral e da forma de aplicação adequada.

Devido a sua natureza, um ligante asfáltico apresenta grande variação da consistência quando submetido a diferentes temperaturas, o que pode influenciar o desempenho do pavimento, e por exemplo: se aplicarmos uma mistura asfáltica num pavimento com uma temperatura abaixo de 100°C (cem graus Celsius), esse revestimento não vai conseguir uma compactação necessária para atender as necessidades dos esforços causados pelos veículos nesse pavimento, podendo ocorrer futuramente possíveis trincas e futuros buracos. Já aplicando o CBUQ com temperatura acima de 165°C (cento e sessenta e cinco graus Celsius) a massa provavelmente virá “queimada”, perdendo assim as propriedades do ligante asfáltico (CAP), fazendo com que o agregado da mistura se solte mais facilmente.

Para evitar que ocorram problemas, como por exemplo, deformação permanente devido à baixa consistência sob elevadas temperaturas e formação de trincas devido à alta rigidez sob baixas temperaturas, é importante conhecer as características do ligante asfáltico.

## 2.2 PATOLOGIAS ENCONTRADAS NO PAVIMENTO.

Dentre os defeitos que ocorrem nos pavimentos flexíveis, dois se destacam: as trincas por fadiga do revestimento e o acúmulo de deformações permanentes nas trilhas de roda.

### 2.2.1 Trincas por Fadiga.

As trincas por fadiga, popularmente conhecida como “couro de jacaré”, como mostrado na Foto 1, ocorrem devido às cargas repetidas do tráfego e, também, devido à falta de flexibilidade ou elasticidade do componente asfáltico do pavimento, que não consegue suportar as solicitações do tráfego pesado, não conseguindo responder a esses esforços. Em consequência a esses fatos, o revestimento asfáltico trinca.



Foto 1: Trincas por fadiga.

### 2.2.2 Deformação Permanente

A deformação permanente nas trilhas de roda (Foto 2) é um tipo de distorção que se manifesta sob a forma de depressões longitudinais, sendo decorrente da densificação dos materiais ou, principalmente, de ruptura por cisalhamento.



A resistência ao cisalhamento de uma mistura asfáltica depende da estrutura de agregados, mas também depende das características de rigidez do ligante asfáltico.



Foto 2: deformação permanente nas trilhas da roda.

Devido a tais patologias, pesquisadores começaram a estudar medidas para melhorar o desempenho dos pavimentos flexíveis. A partir desse ponto foram inserido o pó de borracha proveniente dos pneus inservíveis dos veículos rodoviários, visto que seu descarte indiscriminado no meio ambiente causava transtornos para a população. A inserção desse aditivo no CBUQ melhorou suas propriedades físicas, mecânicas e químicas, aumentando a resistência à formação de defeitos, além de dar destino aos pneus descartados na natureza.

### 2.3 PROBLEMAS DA BORRACHA INDEVIDAMENTE DISPOSTA NO MEIO AMBIENTE.

Com o surgimento dos pneus de borracha as rodas de madeira e ferro usadas em carroças e carroagens foram substituídas. Esse grande avanço foi possível quando o norte-americano Charles Goodyear inventou o pneu ao descobrir, o processo de vulcanização da borracha, quando deixou o produto, misturado com enxofre, cair na chapa quente do fogão. Sua invenção revolucionou o mundo.

Entre as suas potencialidades industriais, além de ser mais resistente e durável, a borracha absorve melhor o impacto das rodas com o solo, o que tornou o transporte muito mais prático e confortável.

Porém, juntamente com a revolução no setor dos transportes, a utilização dos pneus de borracha trouxe consigo a problemática do impacto ambiental, uma vez que a maior parte dos pneus descartados permanece abandonada em locais inadequados, causando grandes transtornos para a saúde e a qualidade de vidas.

No Brasil, cerca de trinta (30) milhões de pneus são descartados todos os anos. Nos Estados Unidos da América, os números são ainda mais impressionantes: o passivo beira três bilhões de carcaças, sendo que a cada ano são geradas mais trezentos (300) milhões de novas carcaças.



Foto 3: Depósito de pneus inservíveis nos Estados Unidos

Os pneus quando se tornam inservíveis, acarretam uma série de problemas sanitários e ambientais, dentre eles:

- Servem como local para procriação de mosquitos e outros vetores de doenças,
- Representam um risco constante de incêndio,
- Quando queimados contaminam o ar com uma fumaça altamente tóxica e deixa como resíduo um óleo que se infiltra e contamina o lençol freático.
- Quando depositados em aterros sanitários dificultam a compactação, reduzindo significativamente a vida útil dos aterros.

Na tabela 01 vemos o tempo de degradação de alguns dos materiais encontrados na natureza, nota-se que a borracha é um dos materiais que mais demora a degradar-se.

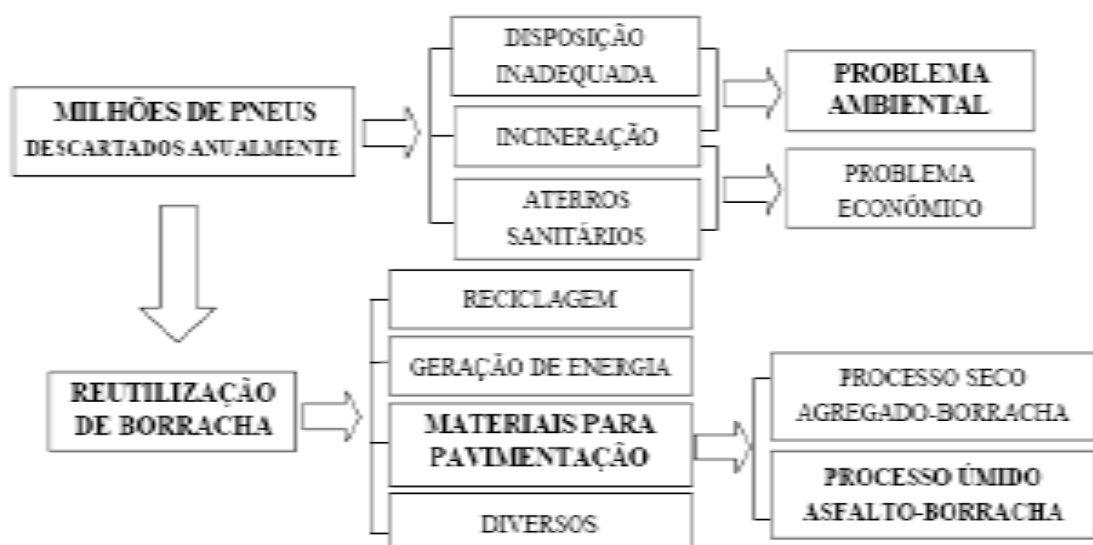
<b>MATERIAL</b>	<b>TEMPO</b>
Jornal	2 a 6 semanas
Bituca de cigarro	2 anos
Chiclete	5 anos
Copinho de plástico / Garrafas PET	500 anos
Fralda Descartável	600 anos
Pneu	600 anos

Tabela. 2 – Tempo que a natureza demora a degradar os materiais.

## 2.4 REAPROVEITAMENTO DE PNEUS USADOS.

Alguma das soluções para amenizar esse grande impacto ambiental seria o reaproveitamento dos pneus usados, como:

- Produção de novos pneus,
- Queima para gerar energia,
- Utilização em aterros sanitários,
- Brinquedos infantis localizados em praças,
- Muros de contenção de rios e encostas,
- Sistemas ópticos de drenagens,
- Objetos de arte,
- Bancos e cadeiras,
- Vasos de plantas.
- E, o objeto principal desse estudo, a incorporação da borracha em pavimentos asfálticos.



**Figura 4: Ciclo dos pneus inservíveis no mundo**

Abaixo vemos figuras de varias formas de como podemos aproveitar o pneu usado.



**Foto 4: Pneus sendo usados como cadeiras e mesas.**



**Foto 5: Pneus sendo usados como vasos de plantas.**



Foto 6: Pneus sendo usados como cadeiras e objetos de decoração.



Foto 7: Pneus sendo usados como contenções de taludes.

“Todo pneu, em algum momento, se transforma em um resíduo potencialmente danoso à saúde pública e ao meio ambiente. Para acabar com isto, uma solução para sua destinação final deve ser adotada” (Bertollo, et. al: 2000).

## 2.5 O ASFALTO BORRACHA.

A mistura do asfalto convencional (CBUQ) com a borracha não é uma tecnologia nova. Há aproximadamente 40 anos, no Arizona - Estados Unidos, um técnico chamado Charles MacDowell, registrou sua patente, depois de 10 anos de experiências, estudos e análises experimentais. O pneu é reciclado e triturado dando origem à borracha granulada, sendo necessário haver a fusão entre os dois materiais, a borracha granulada e o asfalto, ou seja, dar origem a um terceiro produto. É importante ressaltar que não é nem o primeiro, nem o segundo produto. Apesar de ter 40 anos de existência, é uma tecnologia altamente avançada.



Foto 8: Emenda dos dois tipos de pavimentos (1) CBUQ – Convencional e (2) Modificado com Borracha de Pneus

### 2.5.1 Descrição

O Asfalto Borracha consiste em uma camada aplicada sobre o pavimento antigo, ou sobre uma base composta de brita graduada devidamente dosada de acordo com o projeto de pavimentação. Preparada e aplicada a quente, constituída de material betuminoso, agregado mineral (pedra britada, areia e pedregulho britado) e pó de borracha obtida de pneus inservíveis. A mesma será construída segundo o alinhamento, perfil, seção transversal típica e dimensões indicadas pelo projeto. De acordo com a presente instrução do mesmo.

O ligante utilizado na mistura asfáltica é o CAP (Cimento Asfáltico de Petróleo) exercendo a função de “colar” os agregados, pois, quem suporta as cargas é a pedra (brita), mas é preciso envolver a pedra e o pó de pedra, e é por esse motivo que se usa o CAP. Quando o CBUQ é usinado, ele apresenta tonalidade negra com o passar do tempo, (aproximadamente 10 anos) ele vai clareando e que, ficando cinza até chegar ao cinza bem claro; quanto mais velho, vai ficando duro e quebradiço.

O agregado mineral, juntamente com o pó de borracha, deve satisfazer as graduações do quadro abaixo:

Peneira de malha quadrada		% passando, em peso das faixas				
Discriminação	Abert.mm	A	B	C	Toler fixas	
					projeto	
2"	50,8	100	-	-	-	
1 1/2"	38,1	95 – 100	100	-	+/- 7%	
1"	25,4	75-100	95-100	-	+/- 7%	
3/4"	19,1	60-90	80-100	100	+/- 7%	
1/2"	12,7	-	-	85-100	+/- 7%	
3/8"	9,5	35-65	45-80	75-100	+/- 7%	
Nº 4	4.8	25-50	28-60	50-85	+/- 7%	
Nº 10	2.0	20-40	20-45	30-75	+/- 5%	
Nº 40	0.42	10-30	10-32	15-40	+/- 5%	
Nº 80	0,18	5-20	8-20	8-30	+/- 5%	
Nº 200	0,074	1-8	3-8	5-10	+/- 2%	
Betume Solúvel		4,0-7,0	4, 5-7, 5	4, 5-9, 0	+/- 0,3%	
no CS <sub>2</sub> (+) %		Binder	Binder /Rolam	Rolamento		

Tabela 3 – Faixa granulométrica do Asfalto Borracha.

Na tabela abaixo vemos o traço do Asfalto Borracha.



Material	Porcentagens
Brita 0:	46,65%
Pó de Pedra:	37,32%
Pedrisco:	9,33%
Asfalto Borracha:	6,7%
Total:	100%

Tabela 4: Traço do Asfalto Borracha.

“Verifica-se que todo asfalto tem uma vida útil determinada. Uma estrada não é construída para durar 50 anos. Ela é feita para durar cerca de 10 anos, porque existe o processo natural de envelhecimento do ligante asfáltico, que é um produto perecível. Mas quando se funde a borracha com o asfalto, sua vida útil passa a ser de 25 a 30 anos.” João Paulo Souza Silva.

### 2.5.2 O Asfalto Borracha no Mundo.

Diversos países adotaram o asfalto borracha não apenas como uma boa solução ecológica, mas também como uma maneira de se obter pavimentos mais duráveis e seguros, a um preço razoável e com baixa necessidade de manutenção.

Nos Estados Unidos, onde foi inventado, o asfalto borracha é usado há cerca de 40 anos e já possui 70% da malha viária do Arizona revestidas pela massa com pó de borracha. A produção de revestimentos com Asfalto Borracha teve grande crescimento, saltando de 900 toneladas / ano em 1985, para 37.000 toneladas / ano em 2001.

A França começou a utilizar ligantes de asfalto-borracha em 1982 e, em seis anos, mais de 3.000.000 m<sup>2</sup> (três milhões de metros quadrados) deste material foram aplicados em diferentes tipos de revestimentos: de auto-estrada a pistas de aeroportos.

### 2.5.3 O Asfalto Borracha No Brasil.

No Brasil, as aplicações de asfalto borracha em rodovias se iniciaram em escala comercial após o ano de 2000, depois da realização do 1º congresso mundial sobre o assunto, em Portugal.

Hoje, podemos afirmar que nosso país, em particular a Petrobras Distribuidora, domina a tecnologia de produção, transporte e aplicação do produto. O asfalto-borracha chegou no mês de agosto de 2001, asfaltando trechos da BR-116, entre Guaiíba e Barra do Ribeiro, no estado do Rio Grande do Sul.

Atualmente, 16 quilômetros da malha controlada pelo Consórcio Univias são de asfalto borracha. A nova versão também foi usada em rodovias e ruas do estado do Rio de Janeiro e de São Paulo. O estado do Ceará também se mostrou interessado por esta tecnologia, e estudos de viabilidade estão sendo feitos para a aplicação deste tipo de pavimento.

No Espírito Santo foi utilizado, o asfalto borracha, pela primeira vez nas obras de recuperação da rodovia ES 080 nos trechos de São Domingos – Águia Branca e Águia Branca – Corrego do Óleo; ao todo, foram recuperados 52 quilômetros de estrada.

Segundo o engenheiro civil Roberto Bruce Bargiona Luz, da empresa de pavimentação asfáltica e terraplenagem Erggluz Engenharia LTDA, no ano de 2006 a concessionária Rodosol, que faz a ligação dos municípios de Vitória e Vila Velha através da Terceira Ponte, e a Rodovia do Sol, que liga os municípios de Vila Velha e Guarapari, formalizou pedidos que fosse enviado, à mesma, uma proposta de preços para a usinagem e aplicação de Asfalto Borracha num trecho de aproximadamente 1,5 km de extensão, na Rodovia do Sol.



Foto 9: Avenida Atlântica em Copacabana no Rio de Janeiro, pavimentado com Asfalto Borracha.

#### 2.5.4 Equipamentos Necessários Para Aplicação Do Asfalto Borracha.

- Veículos para transporte dos materiais (caminhão-caçamba);
- Equipamento de aquecimento do material betuminoso ligante, capaz de aquecer o mesmo e mantê-lo dentro dos limites especificados de temperatura (caminhão espargidor);
- Termômetro para o controle de temperatura do material betuminoso e do agregado;
- Soquetes manuais;
- Equipamentos para compactação do pavimento como rolo pneumático e rolo metálico liso, tipo tandem ou rolo liso vibratório: os rolos pneumáticos, autopropulsores, devem ser dotados de dispositivos que permitam a calibragem de variada pressão dos pneus de 2,5kgf/cm<sup>2</sup> a 8,4kgf/cm<sup>2</sup> (35 a 120 psi), devendo estar de acordo com as especificações do fabricante, afim de não deixar marcas de pneu no asfalto, comprometendo o acabamento.

- Pequenas ferramentas tais como pás, garfos, ancinhos, enxadas, vassoura, rastelo, carrinho de mão.
- Outros equipamentos, tais como usinas misturadoras móveis, vibro – acabadoras e soquetes mecânicos, podem ser usados, uma vez que existir necessidade.



Foto 10: Vibro-acabadora de asfalto recebendo a mistura asfalto-borracha de um caminhão basculante



Foto 11: Vibro-acabadora espalhando o Asfalto Borracha .



**Foto12: Rolo Pneumático compactando a mistura.**



**Foto 13: Rolo de chapa compactando e dando o acabamento final do Asfalto Borracha recém aplicado.**

## 2.6 TECNOLOGIAS DE USINAGEM.

Existem dois (2) métodos de se obter o asfalto borracha: por via seca ou via úmida.

O processo via seca destina os pneus usados, mas não melhora significativamente os pavimentos construídos quando se usa esta técnica, pois a borracha moída de pneus é incorporada na usinagem da massa asfáltica como “carga”, alterando muito pouco o desempenho do ligante asfáltico, e, por conseguinte, da massa asfáltica assim obtida.

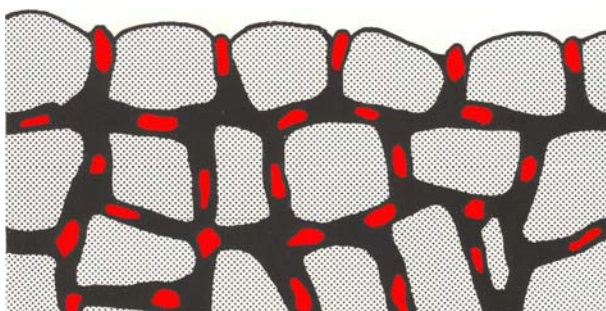


Figura 5: Processo seco de incorporação de borracha em misturas asfálticas

O Asfalto Borracha via úmida, por sua vez, apresenta um ligante com qualidades indiscutivelmente superiores às do asfalto convencional, tais como maior resistência à oxidação pela luz solar, maior viscosidade, mais elasticidade e baixa sensibilidade às variações de temperaturas.

Partículas finas de borracha são misturadas ao cimento asfáltico aquecido, produzindo um novo tipo de ligante denominado “Pavimento Modificado com Borracha de Pneus” (PMB).

No processo úmido, o ligante asfalto-borracha é obtido a partir da adição da borracha moída ao ligante asfáltico, em um tanque de reação, sob temperaturas entre 175 e 200°C. O teor de borracha normalmente utilizado no asfalto borracha é de 15% a 20% em peso. O teor varia em função das características que se deseja obter no ligante modificado final.

Após o período de reação, o produto obtido fica armazenado em outro tanque, que deve conter um sistema mecânico de agitação constante, a fim de manter a mistura dispersa, de forma a evitar a deposição das partículas, que não reagiram parcial ou completamente, com o ligante asfáltico.

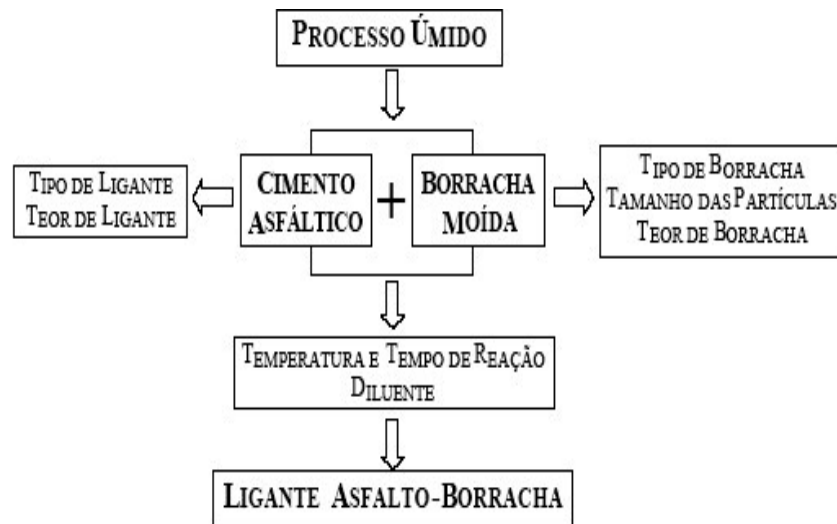


Figura 6: esquema do processo úmido

## 2.7 A USINA DE ASFALTO BORRACHA

Os equipamentos necessários para a usinagem do Asfalto Borracha são:

- Fornos de aquecimento do material betuminoso, capaz de aquecer o mesmo e mantê-lo dentro dos limites especificados de temperatura;
- Equipamento de secagem e aquecimento de agregado, capaz de eliminar a umidade do mesmo, de aquecê-lo e mantê-lo dentro dos limites especificados de temperatura;

- Moedor ou triturador de borracha (para transformar os pneus em borracha moída)
- Tambores magnéticos, responsáveis por separar os metais que constituem os pneus.
- Termômetro para o controle de temperatura do material betuminoso e do agregado;
- Equipamento misturador capaz de efetuar uma mistura homogênea e intimamente ligada, entre o agregado mineral, a borracha moída e o material betuminoso;
- Silos para armazenagem dos agregados minerais e da borracha moída.
- Tanques para armazenagem de Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP).
- Tanques térmicos para armazenagem da mistura pronta.

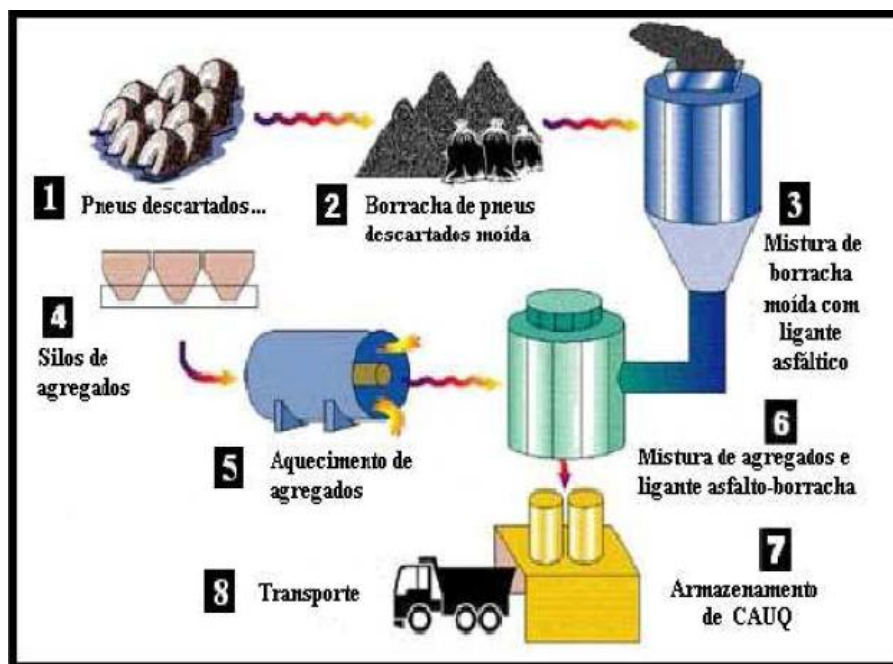


Figura. 6: Como funciona uma usina de asfalto borracha





Foto 14: Pneus sendo levados através de esteiras para a moagem



Foto15: O pneu na moedor e vemos também os tambores magnéticos separando o aço contido nos pnes da borracha



Foto 16: Borracha proveniente do pneu pronta para ser usinada e inserida no CBUQ.

## 2.8 DURABILIDADE.

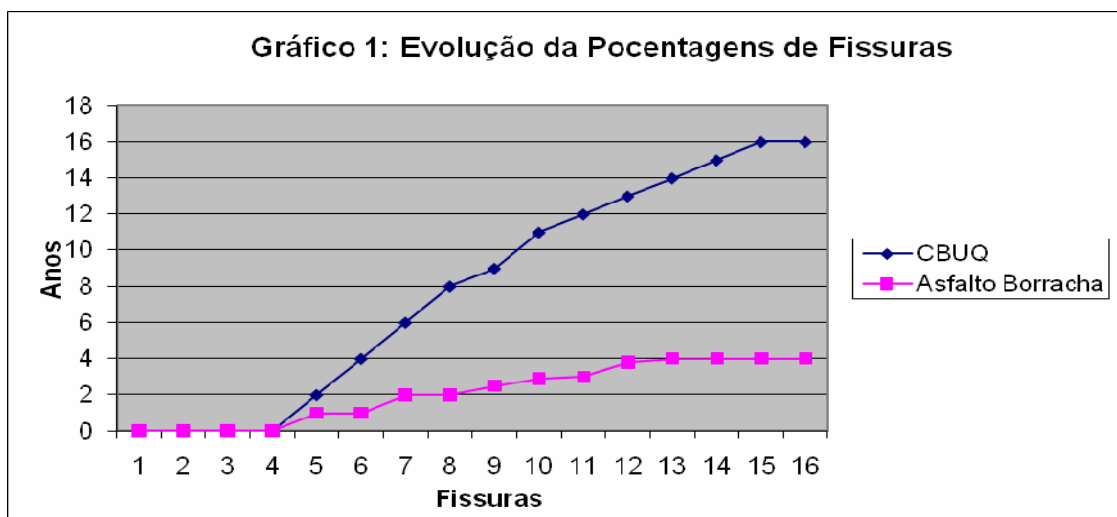
O monitoramento de pistas, nos Estados Unidos, nos últimos 40 anos aponta para uma durabilidade que é o dobro daquela encontrada nos pavimentos construídos com ligantes convencionais, além do retardamento da reflexão de trincas; observando-se que a reflexão de trincas em pavimentos construídos com asfalto borracha chega a ser 3 vezes menor que nos pavimentos convencionais, ou seja, as trincas levam 3 vezes mais tempo para aparecer na superfície do revestimento asfáltico.

Essas observações foram constatadas em simuladores de tráfego espalhados em estradas e rodovias onde foi aplicado o asfalto borracha. A Petrobras Distribuidora possui um analisador de pavimentos asfálticos que mede a vida de

fadiga e a deformação permanente (trilhas de rodas) de pavimentos, simulando sua vida útil.

Corpos de provas de pavimentos executados com asfaltos modificados são analisados rotineiramente neste simulador, sendo os resultados surpreendentes quando se trata de asfalto borracha: as deformações para 10 anos de uso do pavimento chegam a ser 4 (quatro) vezes menores e a vida útil é mais do que o dobro, chegando em alguns casos ao triplo daquela dos pavimentos executados com asfalto convencional.

No gráfico 1 podemos analisar um estudo realizado pela Universidade do Arizona nos Estados Unidos que mostra a evolução das porcentagens de fissuras ao longo de 16 anos entre o CBUQ e o Asfalto Borracha.



Além de demorar mais tempo para criar trincas e buracos, esse tipo de pavimento também leva mais tempo para se deformar com afundamentos, comuns em faixas onde passam ônibus.

O asfalto especial, que pode receber até 20% de borracha, também reduz o acúmulo de água após uma chuva, evitando aquaplanagem e acidentes. Isso ocorre porque a borracha possibilita gerar misturas asfálticas com mais poros. A

água entra por esses minúsculos espaços e pode ser carregada para uma saída lateral nas pistas.

O engenheiro Luiz Guilherme Rodrigues de Mello, autor da tese de doutorado sobre o tema, defendida no Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, explica que as diferenças estão na capacidade dos dois materiais em se deformar e retornar ao estado em que se encontravam. “A borracha dá mais elasticidade. Por isso, demora mais a entrar em processo de fadiga”, explica.

A foto abaixo mostra um detalhe das duas pistas do simulador de tráfego da UFRGS: a da esquerda, com Asfalto Borracha após 123.356 ciclos de um eixo de 10 tf e a da direita, com Asfalto Convencional após 90.303 ciclos.



Foto 17: Simulador de Tráfego da UFRGS.

Podemos observar que a pista de teste com Asfalto Borracha apresenta apenas uma trinca em comparação com a pista com asfalto CAP-20 que se encontra totalmente trincada.

Outros estudos bastante interessantes foram realizados no Laboratório de Tecnologia de Pavimentação do Departamento de Engenharia de Transportes da

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, enfocando ensaios sobre a deformação permanente em revestimentos asfálticos por meio do simulador LCPC. Os estudos da USP analisaram o comportamento, com relação à deformação permanente, de misturas asfálticas modificadas por asfalto convencional e por Asfalto Borracha. As misturas asfálticas elaboradas com Asfalto Borracha apresentaram valores de deformação no simulador muito inferior àqueles verificados em misturas asfálticas com ligantes convencionais. A conclusão foi que a mistura com Asfalto Borracha mostrou-se menos suscetível à formação de trilhas de roda.

Duas placas após serem submetidas ao simulador de tráfego (Orniéreur). A placa da direita é com Asfalto Borracha e deformou-se 5% após 30.000 ciclos de simulação e a placa da esquerda confeccionada com ligante convencional deformou-se 13% após apenas 10.000 ciclos.

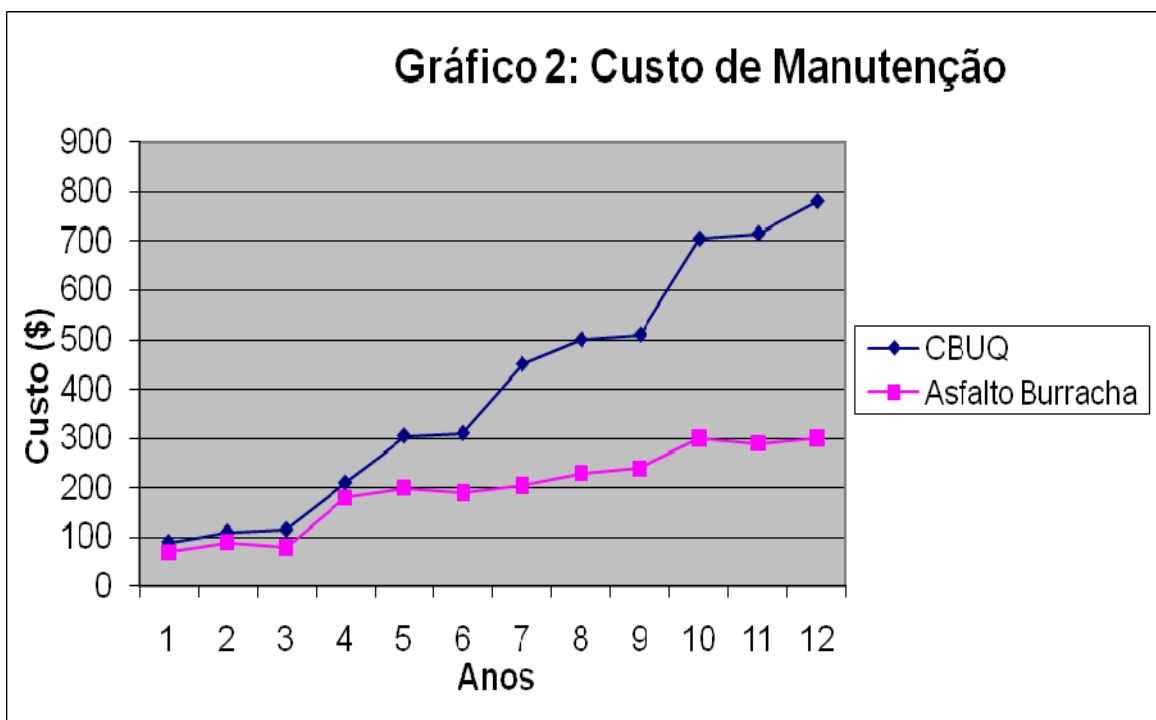


Foto 18: Placas de CBUQ e Asfalto Borracha após simulador de tráfego (Orniéreur)

## 2.9 CUSTO

Como toda nova tecnologia, o CBUQ com borracha sai mais caro em média 30% que seu concorrente. Considerando apenas a execução do serviço do revestimento asfáltico, um quilômetro fica na faixa dos R\$ 117 mil, contra cerca de R\$ 90 mil de um pavimento tradicional.

É preciso observar que a economia varia em função do tamanho da obra e do orçamento envolvido. Em qualquer caso, porém, as diferenças de preço se diluem em longo prazo. O custo se perde na vida útil. Ele pode ser mais caro no início, mas o custo benefício é bem maior.



## 2.10 VANTAGENS

Além do seu valor ecológico, citado anteriormente, a aplicação do asfalto borracha possui vantagens com relação ao asfalto convencional:

- Maior viscosidade
- Maior elasticidade
- Menos sensível a variações extremas de temperaturas
- Maior resistência à luz solar (raios UV)
- Maior resistência a intempéries
- Envelhecimento mais lento
- Retarda a reflexão de trinca
- Diminui em aproximadamente cinco (5) decibéis o nível de ruído provocado pelo tráfego.
- Permite utilizar traços abertos e descontínuos, (ausência de agregado médio)
- Maior adesividade aos agregados
- Maior poder impermeabilizante
- Maior atrito entre o pneu e o pavimento, minimizando assim o risco de acidentes.

## 2.11 DESVANTAGENS

- Desembolso um pouco maior na aquisição do Ecoflex;
- Maiores temperaturas de usinagem e compactação que à mistura com ligante convencional; e,
- Controle tecnológico mais apurado.



### 3. METODOLOGIA

Os caminhos de pesquisa adotados para a estruturação deste trabalho foram livros relacionados ao assunto, encartes explicativos de empresas do ramo, jornais e sites. Complementação por uma pesquisa de campo em uma empresa de pavimentação asfáltica e terraplenagem a Erggluz Engenharia Ltda, e uma usina de CBUQ, Construtora Terra Brasil.

Nesta monografia foram tratados alguns conceitos envolvendo o meio ambiente, passando para a definição de pavimentos e suas camadas, em seguida todo o conceito de Asfalto Borracha, com suas fontes e canais.

Uma pesquisa de campo foi realizada na empresa de pavimentação asfáltica e terraplenagem Erggluz Engenharia Ltda., localizado no município de Vitória Espírito Santo. Acompanhamos a mesma durante aproximadamente 2 meses, onde se pode perceber todo o universo da aplicação e manutenção do CBUQ. As necessidades de se implantar um novo material onde diminua consideravelmente as fissuras e os buracos encontrados no pavimento.

A usina de asfalto Construtora Terra Brasil Ltda., localizada no município de Vila Velha, Espírito Santo, no qual passamos aproximadamente 7 dias no local, colaborou para nosso trabalho mostrando todo processo de usinagem do CBUQ, quais as diferenças de uma usina de CBUQ e de Asfalto Borracha, e quais as dificuldades encontradas em estar montando uma usina deste tipo de material (Asfalto Borracha).

#### 4. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

“O transporte rodoviário no Brasil responde por mais de 65% do volume de toda carga transportada e 95% dos passageiros, numa operação que corresponde 70% do nosso PIB – Produto Interno Bruto. Uma rodovia em mau estado de conservação representa 58% a mais no consumo de combustível, 38% no custo de manutenção dos veículos, aumentando o tempo de viagem em 100% e provoca 50% a mais, o número de acidentes” explica o engenheiro do DER – ES (Departamento de Estradas de Rodagem do Espírito Santo) Eudier Antonio da Silva.

O asfalto tem sido o principal material aglutinante utilizado na construção de rodovias e vias urbanas, entretanto, o aumento de veículos comerciais e de carga transportada por eixo, tem levado ao fracasso prematuro do pavimento, resultando o aumento dos custos e manutenção, engarrafamento e atrasos de usuários.

Além disso, por limitação de custos, as técnicas empregadas para manutenção incluem misturas delgadas com ligantes extremamente duros, conduzindo às trincas de fadiga e, conseqüentemente, a degradação prematura do pavimento.

O asfalto é um excelente material aglutinante, fácil de aplicar e custo reduzido, porem, apresenta algumas limitações:

- Em determinadas misturas, a presença de umidade na interface agregado/ligante, leva a perda de material póreo;
- A resistência à tração do asfalto diminui a umidade em que o mesmo é esticado, ou seja, o betume perde a resistência mecânica quando o pavimento sobre deflexões;

- Em baixas temperaturas, se tornam rígido e quebradiço, sujeito a trincas e em altas temperaturas flui causando deformações plásticas no pavimento;
- Apresenta tendência ao envelhecimento (oxidação).

Com a adição do pó de pneu ao Asfalto convencional, conseguimos um aumento significativo da sua durabilidade, vida útil, devido a obtenção de um ligante betuminoso com excelentes propriedades elastômera, com alta viscosidade a altas temperaturas e com excelente viscosidade a baixas temperaturas. Além destas melhorias nos revestimentos asfálticos, ajuda na diminuição da problemática ambiental dos depósitos de pneus inservíveis que vem preocupando autoridades de diversas partes do país.

Em virtude da falta de incentivos fiscais e do seu alto custo inicial, o Asfalto Borracha ainda não é um pavimento utilizado em grande escala no Brasil, em relação ao mundo.

## 5 CONCLUSÃO

Verificou-se através de estudos técnicos e comparativos apresentados anteriormente, que o uso da borracha de pneus inservíveis misturado ao asfalto é uma técnica que vem sendo cada vez mais utilizada em todo o mundo.

Além de aumentar a durabilidade e eficiência das rodovias onde é utilizado, o Asfalto Borracha também aparece como solução para o problema de destinação do resíduo gerado pelos pneus inutilizados.

O Asfalto Borracha não só é uma solução para parte dos problemas ambientais gerados dos pneus inservíveis jogado no meio ambiente, como também uma solução para a maior durabilidade das rodovias no Brasil.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

PREFEITURA DA BARRA DE SÃO FRANCISCO – ES  
<http://www.pmbfsf.es.gov.br/noticias/rodovia01.html>. Acesso em 31 de julho de 2009.

A Concer [http://www.concer.com.br/obras\\_andamento\\_asf\\_eco.htm](http://www.concer.com.br/obras_andamento_asf_eco.htm). Acesso em 22 de maio de 2009.

TECNOLOGIA de Asfalto – Borracha está sendo desenvolvida na Bahia.  
<http://infocienciabahia.blogspot.com/2005/09/tecnologia-de-asfalto-borracha-est.html>. Acesso em 20 maio de 2009.

ASFALTO borracha: a alternativa ecológica para reutilização de pneus usados  
<http://www.universia.com.br/materia/materia.jsp?id=9720>. Acesso em 20 de maio de 2009.

ASFALTO Borracha nova tendência para recuperação de rodovias.  
[http://guaruja.jornalbaixadasantista.com.br/conteudo/asfalto\\_borracha\\_nova\\_tendencia\\_2007.asp](http://guaruja.jornalbaixadasantista.com.br/conteudo/asfalto_borracha_nova_tendencia_2007.asp). Acesso em 20 de maio de 2009.

ASFALTO Borracha resiste 16 vezes mais.  
<http://www.rts.org.br/noticias/destaque-2/asfalto-com-borracha-resiste-16-vezes-mais>. Acesso em 15 de maio 2009.

VANTAGENS ambientais e econômicas no uso de borracha em asfalto.  
[http://inovacao.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1808-23942007000300008&lng=es&nrm=iso](http://inovacao.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1808-23942007000300008&lng=es&nrm=iso). Acesso em 15 de maio de 2009.

ANÁLISE dos efeitos da borracha móda de pneu e do resíduo de óleo de xisto sobre algumas propriedades mecânicas de misturas asfálticas densas

<http://biblioteca.universia.net/ficha.do?id=36482943>. Acesso em 15 de maio de 2009.

BENEFÍCIO do Asfalto – Borracha  
<http://www.revistameioambiente.com.br/2008/03/27/710/>. Acesso em 12 de maio de 2009.

(SALINI, 2000, SPECHT et al. 2002, BERTOLLO, 2002, PINHEIRO et al., 2003).

REGRAS do CONAMA para armazenagem de pneu usado.  
<http://www.observatorioeco.com.br/index.php/integra-regras-do-conama-para-armazenagem-de-pneu-usado/index.php>. Acesso em 12 de maio de 2009.

CONAMA [www.mma.gov.br/port/conama](http://www.mma.gov.br/port/conama). Acesso em 9 de maio de 2009.

RECIPAV. [www.recipav.pt](http://www.recipav.pt). Acesso em 09 de maio de 2009.

BR Distribuidora (2003) Relatório da Aplicação do Asfalto Borracha em um trecho Experimental.

Bressan, S. (2003) Brasil Pode Virar “Lixão” Mundial de Pneus. Informativos OnLine, Biodiversidade. Disponível em:  
[http://www.anbio.org.br/bio/biodiver\\_inf216.htm](http://www.anbio.org.br/bio/biodiver_inf216.htm) - 30/10/ 2003.

Faxina, A.L. (2002) Estudo em Laboratório do Desempenho de Concreto Asfáltico Usinado a Quente Empregando Ligante Tipo Asfalto-Borracha. *Dissertação de Mestrado*, EESC, São Carlos, SP, Brasil.

Leite, L.M. (1999) Estudo do Preparo e caracterização de asfaltos modificados por polímero. *Tese de Doutorado*, IMA/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

Motta, L.M.G., Tonial, I., Leite, L.M. e Constantino, R.S. (1996) *Princípios do Projeto e Análise SUPERPAVE de Misturas Asfálticas*. Tradução comentada, IBP.

Oda, S. (2000) *Análise da Viabilidade Técnica da Utilização do Ligante Asfalto-Borracha em Obras de Pavimentação*, Tese de Doutorado, EESC, São Carlos, SP, Brasil.

Santos, E.F.; G.M. Silva; J.P.A. Feitosa; J.B. Soares (2003) *Caracterização de Cimento Asfáltico de Petróleo Brasileiro Modificado por Borracha de Pneu Moído de Renovadoras*. 2 Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás, Rio de Janeiro.

Soares, J.B.; L.M.G. Mota; L.M Leite (1999) *Quatro Anos de Observação da Pista Experimental do Ceaá*. XIII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, ANPET, 1999, São Carlos. Anais. 1999. v. I, p.263-272.

Soares, J.B.; L.M.G. Mota; R.F. Leite (2000) *Análise de bacias deflectométricas para o controle de construção de pavimentos asfálticos*. XIV Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, ANPET, 2000, Gramado.

Specht, L.P. (2004) *Avaliação de Misturas Asfálticas com Incorporação de Borracha Reciclada de Pneus*, Tese de Doutorado, UFRGS, Porto Alegre, RS, Brasil.

## 7 ANEXOS

## **RESOLUÇÃO Nº 258, de 26 de agosto de 1999**

O CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA, no uso das atribuições que lhe são conferidas pela Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, regulamentada pelo Decreto nº 99.274, de 6 de junho de 1990 e suas alterações, tendo em vista o disposto em seu Regimento Interno, e considerando que os pneumáticos inservíveis abandonados ou dispostos inadequadamente constituem passivo ambiental, que resulta em sério risco ao meio ambiente e à saúde pública;

Considerando que não há possibilidade de reaproveitamento desses pneumáticos inservíveis para uso veicular e nem para processos de reforma, tais como recapagem, recauchutagem e remoldagem;

Considerando que uma parte dos pneumáticos novos, depois de usados, pode ser utilizada como matéria prima em processos de reciclagem;

Considerando a necessidade de dar destinação final, de forma ambientalmente adequada e segura, aos pneumáticos inservíveis, resolve:

Art.1º As empresas fabricantes e as importadoras de pneumáticos ficam obrigadas a coletar e dar destinação final, ambientalmente adequada, aos pneus inservíveis existentes no território nacional, na proporção definida nesta Resolução relativamente às quantidades fabricadas e/ou importadas.

Parágrafo único. As empresas que realizam processos de reforma ou de destinação final ambientalmente adequada de pneumáticos ficam dispensadas de atender ao disposto neste artigo, exclusivamente no que se refere a utilização dos quantitativos de pneumáticos coletados no território nacional.

Art. 2º Para os fins do disposto nesta Resolução, considera-se:



I - pneu ou pneumático: todo artefato inflável, constituído basicamente por borracha e materiais de reforço utilizados para rodagem em veículos;

II - pneu ou pneumático novo: aquele que nunca foi utilizado para rodagem sob qualquer forma, enquadrando-se, para efeito de importação, no código 4011 da Tarifa Externa Comum-TEC;

III - pneu ou pneumático reformado: todo pneumático que foi submetido a algum tipo de processo industrial com o fim específico de aumentar sua vida útil de rodagem em meios de transporte, tais como recapagem, recauchutagem ou remoldagem, enquadrando-se, para efeitos de importação, no código 4012.10 da Tarifa Externa Comum-TEC;

IV - pneu ou pneumático inservível: aquele que não mais se presta a processo de reforma que permita condição de rodagem adicional.

Art. 3º Os prazos e quantidades para coleta e destinação final, de forma ambientalmente adequada, dos pneumáticos inservíveis de que trata esta Resolução, são os seguintes:

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

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

III - a partir de 1º de janeiro de 2004:

a) para cada um pneu novo fabricado no País ou pneu novo importado, inclusive aqueles que acompanham os veículos importados, as empresas fabricantes e as importadoras deverão dar destinação final a um pneu inservível;

b) para cada quatro pneus reformados importados, de qualquer tipo, as empresas importadoras deverão dar destinação final a cinco pneus inservíveis;

IV - a partir de 1º de janeiro de 2005:

a) para cada quatro pneus novos fabricados no País ou pneus novos importados, inclusive aqueles que acompanham os veículos importados, as empresas fabricantes e as importadoras deverão dar destinação final a cinco pneus inservíveis;

b) para cada três pneus reformados importados, de qualquer tipo, as empresas importadoras deverão dar destinação final a quatro pneus inservíveis.

Parágrafo único. O disposto neste artigo não se aplica aos pneumáticos exportados ou aos que equipam veículos exportados pelo País.

Art. 4º No quinto ano de vigência desta Resolução, o CONAMA, após avaliação a ser procedida pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - IBAMA, reavaliará as normas e procedimentos estabelecidos nesta Resolução.

Art. 5º O IBAMA poderá adotar, para efeito de fiscalização e controle, a equivalência em peso dos pneumáticos inservíveis.

Art. 6º As empresas importadoras deverão, a partir de 1º de janeiro de 2002, comprovar junto ao IBAMA, previamente aos embarques no exterior, a destinação final, de forma ambientalmente adequada, das quantidades de pneus inservíveis estabelecidas no art. 3º desta Resolução, correspondentes às

quantidades a serem importadas, para efeitos de liberação de importação junto ao Departamento de Operações de Comércio Exterior-DECEX, do Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior.

Art. 7º As empresas fabricantes de pneumáticos deverão, a partir de 1º de janeiro de 2002, comprovar junto ao IBAMA, anualmente, a destinação final, de forma ambientalmente adequada, das quantidades de pneus inservíveis estabelecidas no art. 3º desta Resolução, correspondentes às quantidades fabricadas.

Art. 8º Os fabricantes e os importadores de pneumáticos poderão efetuar a destinação final, de forma ambientalmente adequada, dos pneus inservíveis de sua responsabilidade, em instalações próprias ou mediante contratação de serviços especializados de terceiros.

Parágrafo único. As instalações para o processamento de pneus inservíveis e a destinação final deverão atender ao disposto na legislação ambiental em vigor, inclusive no que se refere ao licenciamento ambiental.

Art. 9º A partir da data de publicação desta Resolução fica proibida a destinação final inadequada de pneumáticos inservíveis, tais como a disposição em aterros sanitários, mar, rios, lagos ou riachos, terrenos baldios ou alagados, e queima a céu aberto.

Art. 10. Os fabricantes e os importadores poderão criar centrais de recepção de pneus inservíveis, a serem localizadas e instaladas de acordo com as normas ambientais e demais normas vigentes, para armazenamento temporário e posterior destinação final ambientalmente segura e adequada.

Art. 11. Os distribuidores, os revendedores e os consumidores finais de pneus, em articulação com os fabricantes, importadores e Poder Público, deverão colaborar na adoção de procedimentos, visando implementar a coleta dos pneus inservíveis existentes no País.

Art. 12. O não cumprimento do disposto nesta Resolução implicará as sanções estabelecidas na Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998, regulamentada pelo Decreto nº 3.179, de 21 de setembro de 1999.

Art. 13. Esta Resolução entra em vigor na data de sua publicação.

---