



CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS

Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 1.162, de 13/10/16, D.O.U nº 198, de 14/10/2016
ASSOCIAÇÃO EDUCACIONAL LUTERANA DO BRASIL

Yara Cristina Ferreira da Silva

ESTUDO DAS VANTAGENS E DESVANTAGENS DA UTILIZAÇÃO DO ASFALTO BORRACHA

Palmas – TO

2017

Yara Cristina Ferreira da Silva

ESTUDO DAS VANTAGENS E DESVANTAGENS DA UTILIZAÇÃO DO ASFALTO
BORRACHA

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) II elaborado e apresentado como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil pelo Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. Esp. Euzir Pinto Chagas

Palmas – TO

2017

Yara Cristina Ferreira da Silva

ESTUDO DAS VANTAGENS E DESVANTAGENS DA UTILIZAÇÃO DO ASFALTO
BORRACHA

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) II elaborado e
apresentado como requisito parcial para obtenção do
título de bacharel em Engenharia Civil pelo Centro
Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. Esp. Euzir Pinto Chagas

Aprovado em: ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Esp. Euzir Pinto Chagas

Orientador

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP

Prof. Edivaldo Alves dos Santos

Avaliador

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP

Prof. Miguel Negri

Avaliador

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP

Palmas – TO

2017

DEDICATÓRIA

Não fazemos nada sozinhos, a realização de um sonho ou de um projeto as vezes vêm acompanhadas de sacrifícios, obstáculos, recomeços. No meu caso foram noites em claro, trocar festas e saídas por estudos e finais de semanas sobre livros e calculadora. Diante de tantas dúvidas e incertezas sempre existiram anjos disfarçados de pessoas que não me deixaram abater, que me incentivaram e me mostraram quão grande seria minha vitória. Dedico este trabalho aos meus pais Vando de Souza Silva e Maria José Ferreira Silva, meus irmãos João Inácio de Souza Neto e Vando de Souza Silva Júnior, minha avó Irma de Medeiros Silva e meu namorado Carlos Eduardo de Andrade Duarte que em momento algum me deixaram fraquejar e em todo momento acreditaram em mim.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, a quem sempre busquei nos momentos mais difíceis e a quem devo todas as conquistas realizadas no decorrer da minha vida. Sei que tudo foi na permissão e vontade d'Ele. Aos meus familiares, em especial ao meu pai que sonhou cada passo junto comigo e lutou muito por isso, sem ele nada disso seria possível e a minha mãe por cada oração e palavra de conforto. Aos meus colegas de faculdade, inclusive aos que me deram amparo nas minhas crises de desespero. Não posso deixar de agradecer pessoas que se mobilizaram comigo, serviram de motoristas e companheiros nas buscas por mais informações, meu namorado e também meu grande amigo Rênisson Alves Silva. Meus mais sinceros agradecimentos aos professores e mestres que colaboraram muito para a minha formação profissional, principalmente ao meu orientador, professor Euzir Pinto Chagas pelo apoio e dedicação, também a minha banca formada por dois profissionais de extrema competência professor Edivaldo Alves dos Santos e professor Miguel de Negri, pelo suporte, correções e paciência, contribuindo para a conclusão deste trabalho. Enfim, a todos que de alguma forma contribuíram para que eu concluísse esse trabalho eu deixo aqui o meu muito obrigada.

***“Não basta ser apenas arquiteto, e projetar sonhos
seja engenheiro, e comece a construí-los. ”***

Rodrigo Arruda de Araújo

RESUMO

SILVA, Yara Cristina Ferreira da. **Estudo das vantagens e desvantagens da utilização do asfalto borracha**. 2017. 48 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Luterano de Palmas, Palmas/TO.

O presente trabalho foi desenvolvido com o objetivo de estudar as vantagens e desvantagens da utilização do asfalto borracha, fazendo comparativos com o método de pavimento convencional analisando os quesitos de viabilidade técnica, ecológico e econômico. O estudo foi baseado em materiais bibliográficos publicados por empresas e concessionárias brasileiras que aderiram a nova técnica como também notas de engenheiros civis, profissionais da área de pavimentação e usuários das rodovias. O trabalho também tem como objetivo alertar sobre o problema ambiental que os descartes de pneus podem causar a natureza, além de doenças como a dengue. Dito isso, será necessário listar pontos positivos e negativos dessa técnica levando em consideração a parte ecológica e técnica como seu desempenho, sua vida útil e custos com manutenções.

Palavras-chave: Asfalto Borracha. Pneus. Desempenho. Ecológico

ABSTRACT

SILVA, Yara Cristina Ferreira da. **Study the advantages and disadvantages of using rubber asphalt.** 2017. 48 f. Work Completion of course (Diploma in Civil Engineering) – Centro Universitário Luterano de Palmas CEULP/ULBRA, Palmas – TO.

The present work was developed with the objective of studying the advantages and disadvantages of the use of rubber asphalt, making comparative with the conventional pavement method, analyzing the technical, ecological and economic viability requirements. The study was based on bibliographic materials published by Brazilian companies and concessionaires who joined the new technique as well as notes of civil engineers, paving professionals and road users. The work also aims to warn about the environmental problem that discarded tires can cause nature, in addition to diseases such as dengue. Having said that, it will be necessary to list positive and negative points of this technique taking into consideration the ecological and technical part as its performance, its useful life and maintenance costs.

Key words: Asphalt. Rubber. Tires. Performance. Ecological

LISTA DE SIGLAS

ADP: Asfaltos Diluídos de petróleo

AUTOBAN: Rodovia Anhanguera Bandeirantes

CAP: Cimento Asfáltico de Petróleo

CBUQ: Concreto Betuminoso Usinado a Quente

CM: Centímetro

CONAMA: Conselho nacional do Meio Ambiente

CR: Certificado de Registro

DAER: Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem

DER: Departamento de Estradas de Rodagem

DNIT: Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte

EAP: Emulsão Asfáltica de Petróleo

LCPC: Simulador de Tráfego - Laboratoire Central des Ponts et Chaussées

RAP: Reclaimed Asphalt Pavement

RCC: Resíduos de Construção civil

SAI: Sistema Anchieta- Imigrantes

SBR: Sociedade Brasileira de Reumatologia

SPUA: Superintendência das Usinas de Asfalto

UFRGS: Universidade Federal do Rio Grande do Sul

UV: Radiação Ultravioleta

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Comparação de revestimento com CBUQ convencional x CBUQ com asfalto borracha.....	37
Quadro 2: Comparação de revestimento com CBUQ convencional x CBUQ com asfalto borracha.....	38
Quadro 3: Comparação de revestimento com CBUQ convencional x CBUQ com asfalto borracha.....	39
Quadro 5: Comparação da redução de custo de revestimento com CBUQ convencional x CBUQ com asfalto borracha.....	39
Quadro 5: Custo de manutenção + execução.....	43

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Custo de execução – Avaliação da viabilidade financeira de projetos com utilização do Asfalto Borracha em relação ao asfalto convencional.....	41
Gráfico 2: Custo de manutenção – Avaliação da viabilidade financeira de projetos com utilização do Asfalto Borracha em relação ao asfalto convencional.....	42

LISTA DE FIGURAS

Figura 01: Seção típica de Pavimento Flexível.....	17
Figura 02: Seção típica de Pavimento Rígido.....	17
Figura 03: Distribuição do carregamento em Pavimentos Rígidos e Flexíveis.....	18
Figura 04: Seção tipo de um pavimento sustentável.....	24
Figura 05: Esquema de reaproveitamento de pneus descartados.....	26
Figura 06: Pneus descartados no meio ambiente.....	27
Figura 07: Principais vias com asfalto borracha na região sudeste.....	29
Figura 08: Principais vias com asfalto borracha na região sudeste e sul.....	29
Figura 09: Asfalto borracha começa a ser usado na região norte no estado do Pará.....	29
Figura 10: Relação de pneus usados de 2001 a 2013.....	35

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 PROBLEMA DE PESQUISA	14
1.3 OBJETIVOS	14
1.3.1 Objetivo Geral	14
1.3.2 Objetivos Específicos	14
1.4 JUSTIFICATIVA	14
2 REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1 PAVIMENTOS: DEFINIÇÃO	15
2.2 CLASSIFICAÇÃO DOS PAVIMENTOS	15
2.3 MATERIAIS BETUMINOSOS	18
2.3.1 ASFALTO	18
2.3.2 CIMENTOS ASFÁLTICOS DE PETÓLEO - CAP	19
2.3.3 ASFALTOS DILUÍDOS DE PETRÓLEO - ADP	19
2.3.4 EMULSÕES ASFÁLTICAS - EAP	20
2.3.5 ASFALTOS MODIFICADOS COM POLÍMERO	21
2.4 ASFALTO BORRACHA	21
2.4.1 ASFALTO SUSTENTÁVEL: UMA REALIDADE NO BRASIL	23
2.5 MEIO AMBIENTE: PNEUS DESCARTADOS NA NATUREZA	25
2.5.1 PRODUÇÃO X DESCARTE	27
3 METODOLOGIA	28
3.1 METODOLOGIA DE PROJETO	28
3.2 RODOVIAS FEDERIAS QUE RECEBEM ASFALTO BORRACHA	28
3.2.1 RECUPERAÇÃO DO SISTEMA ANCHIETA IMIGRANTES COM ASFALTO BORRACHA	30
3.3 ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA	31
3.4 DESEMPENHO DO PAVIMENTO	32
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	33
4.1 RODOVIAS ESTADUAIS QUE RECEBEM ASFALTO BORRACHA	33
4.2 CONTABILIDADE ECOLÓGICA	34
4.3 AVALIAÇÃO ECONÔMICA FINCEIRA DE UMA OBRA COM AASFALTO BORRACHA	36
4.4 AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE FINANCEIRA DE PROJETO COM UTILIZAÇÃO DO ASFALTO BORRACHA EM RELAÇÃO AO ASFALTO CONVENCIONAL	40

4.5 DESEMPENHO DOS TRECHOS EXECUTADOS.....	43
5 CONCLUSÃO.....	45
8 REFERÊNCIAS	46

1. INTRODUÇÃO

O setor da construção civil, sendo obras particulares e/ou obras públicas caracteriza-se pela modificação da paisagem como também o uso de recursos naturais renováveis e não renováveis. Dependendo da evolução econômica, do investimento público, da procura e demanda, das condições climáticas, aberturas de créditos bancários e taxas de juros, obtenções de licenças e diversos outros fatores que influenciam direta e indiretamente no seu crescimento (DI GIULIO, 2007).

Uma rodovia tem como finalidade promover um meio seguro e econômica para tráfego de pessoas e cargas. Um país rodoviarista como o Brasil, que ainda transporta 62% de suas cargas e 96% dos seus passageiros por estradas, necessita urgentemente de melhorias do transporte viário, não apenas para quem exerce a atividade de transporte, mas para a sociedade em geral, tendo em vista que uma rodovia em mau estado acarreta em atrasos de cargas e pessoas, acidentes e outros danos para quem dela depende direta ou indiretamente. E é o Brasil quem perde com o descaso e falta de atenção das autoridades e a decadência de técnicos especializados na área. (CNT, 2007)

Pode-se verificar que no Brasil, em muitos pavimentos ainda que prematuros, as patologias começam a aparecer na superfície de rolamento, causando desconforto, insegurança e aumentando os custos com manutenção do meio de transporte e combustível aos usuários.

Devido a tal problema, viu-se a possibilidade de melhorar os revestimentos asfálticos com adição de borracha ao ligante. A massa asfáltica obtida com o emprego do ligante, então batizado de asfalto borracha, apresenta maior durabilidade, menor tendência à deformações permanentes, maior elasticidade, maior resistência à intempéries e maior resistência a fadiga quando comparadas ao emprego do asfalto convencional, em termos de pavimentos mais duráveis e de melhor qualidade.

1.1 PROBLEMA DE PESQUISA

Dentre os vários tipos de revestimento asfáltico em pavimentos rodoviários existem, os tratamentos superficiais, concreto betuminoso usinado quente, classificados como flexíveis e o concreto de cimento Portland, classificados como rígidos. Em função da questão ambiental e também das vantagens na viabilidade técnica, porque não aplicamos um pavimento com adição de polímero (borracha) afim de aumentar a sua vida útil?

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Avaliar as vantagens e desvantagens da utilização do asfalto borracha em rodovias federais no Brasil

1.2.2 Objetivos Específicos

- Pesquisar e apresentar as rodovias federais que recebem intervenção com asfalto borracha;
- Estudar a viabilidade técnica, ambiental e econômica para utilização do pavimento;
- Apresentar dados do desempenho de trechos já executados em rodovias federais.

1.3 JUSTIFICATIVA

De acordo com o engenheiro-assessor de projetos especiais da ECOVIAS, empresa do grupo EcoRodovias, **PAULO ROSA (2011)**, o pavimento de asfalto borracha é 40% mais resistente do que o asfalto convencional e tem maior aderência, o que ajuda a evitar derrapagens reduzindo assim o spray causado pelos pneus em dias de chuva.

Este projeto tem como importância analisar as vantagens e desvantagens econômicas e sustentáveis da utilização do asfalto borracha. Este trabalho também permitirá observar o comportamento deste tipo de pavimento e sua viabilidade técnica, fazendo uma análise comparativa do pavimento com adição de borracha e dos pavimentos mais convencionais. Além disso, poderão ser feitas recomendações de aplicação com base no estudo das vantagens que o asfalto oferece, inclusive ao meio ambiente, pela utilização de pneus que foram descartados na natureza e que demoram um tempo significativo para serem decompostos.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Pavimentos: definição

Pavimentos são estruturas compostas por camadas construídas sobre uma terraplanagem, com a função de resistir aos esforços do tráfego e melhorar assim as condições de rolamento (SENÇO, 2007).

Os pavimentos são superestruturas com camadas de materiais diversos com uma interligação entre suas propriedades para garantir uma melhor resistência, que são calculadas e projetadas mediante as tensões solicitadas para o trecho. Essas estruturas são sobrepostas a uma fundação como infraestrutura, na qual será previamente analisada e tratada, sendo chamada de subleito (SOUZA, 1976).

Segundo o DNIT (2006), o sistema de pavimentação é formado por múltiplas camadas, e o seu manual enumera as quatro camadas principais:

- a) **Subleito:** é o terreno de fundação do pavimento;
- b) **Reforço de subleito:** é uma camada de espessura constante, com características geotécnicas inferior que o da camada inferior, porém melhor que o subleito;
- c) **Sub-base:** é a camada complementar à base, quando não for aconselhável, por circunstâncias técnico – econômicas construir a base direto sobre o reforço;
- d) **Base:** é uma camada destinada a resistir e distribuir os esforços solicitados do tráfego e sobre a qual se constrói o revestimento.
- e) **Revestimento:** é a camada mais nobre do pavimento, ou seja, a de maior custo para construção, também é a camada de maior importância, já que interage diretamente com o tráfego, sendo a camada responsável pelo retorno aos esforços solicitados pelos veículos.

Analisada a intensidade ou o tipo de tráfego, o tipo de solo ou a vida útil do projeto, determina-se o revestimento, que pode ser composto por apenas uma camada de rolamento ou camadas intermediárias ou de ligação. Mas nos casos mais comum, é utilizado como revestimento apenas uma camada de mistura asfáltica (JULIANA NAKAMURA, 2011).

Segundo Souza (1976), um dos principais objetivos do pavimento é resistir, distribuir e repassar ao subleito as cargas geradas devido ao tráfego nas vias, melhorando as condições dos usuários em relação à comodidade e segurança.

De acordo com Guimarães Neto (2011), importância da pavimentação das estradas é que for realizada de forma correta deve apresentar superfície regular e aderente aos pneus,

proporcionando menores riscos de acidentes causados pela perda de controle do veículo, ou eventual necessidade de frenagens e/ou desvios repentinos. Quanto melhor a qualidade do pavimento, maior a economia em manutenção, tanto do veículo utilizado como do próprio pavimento, já que os recursos para implantação e manutenção das estradas são oriundos de impostos cobrados do cidadão.

O revestimento asfáltico na composição de pavimentos flexíveis é uma das soluções mais tradicionais nas rodovias brasileiras, segundo dados da Associação Brasileira das Empresas Distribuidoras de Asfalto (Abeda), mais de 90% das estradas pavimentadas nacionais são de revestimento asfáltico. Levando em conta que o Brasil é um país rodoviarista que ainda transporta muito de suas cargas por terra. A principal finalidade das rodovias é permitir o deslocamento humano entre diferentes regiões, o transporte de alimentos, cargas, materiais e turismo, que influenciam diretamente na consolidação da economia e no desenvolvimento regional como forma de integração social, econômica, cultural e política (JULIANA NAKAMURA, 2011).

2.2 Classificação de pavimentos no Brasil

Os pavimentos são classificados como flexíveis e rígidos.

a. Pavimento Flexível

O pavimento flexível é caracterizado por ter capacidade de sofrer deformação sem que isso acarrete danos à estrutura. Também é dimensionado para resistir aos processos de tração e compressão provenientes das cargas aplicadas sobre o pavimento, no entanto, pode apresentar deformação permanente que pode vir ao rompimento por fadiga (SENÇO, 1997).

O pavimento flexível é aquele no qual as camadas sofrem deformações elásticas provenientes do carregamento aplicado, as cargas são distribuídas de forma uniforme em todas as camadas. (BRASIL, 2006).

Segundo Senço (1997), é comum que se haja questionamentos sobre a classificação do pavimento, isso ocorre devido a variação dos materiais que compõe as camadas que o constituem. Como exemplo temos, um pavimento asfáltico considerado flexível, apoiado sobre uma base de concreto, considerada como rígida.

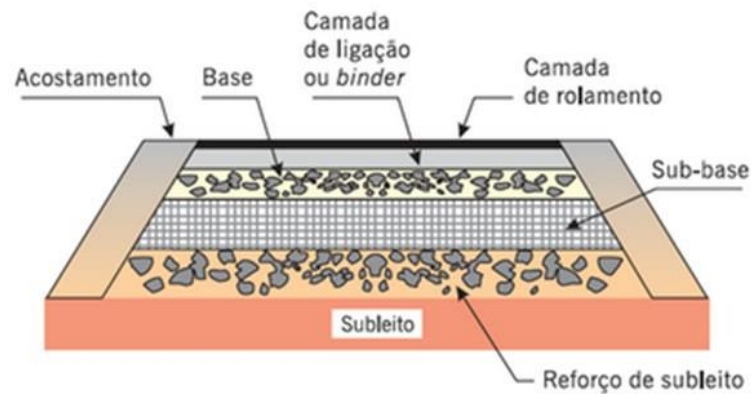


Figura 1 - Seção típica de Pavimento Flexível

Fonte: Pavimentação asfáltica: Formação Básica para engenheiros PETROBRAS

b. Pavimento rígido

O pavimento rígido é aquele em que o revestimento possui uma elevada rigidez em relação às camadas inferiores, portanto, absorve praticamente todas as tensões solicitadas pelo tráfego (DNIT, 2006).

Na avaliação de Senço (1997), o pavimento rígido é caracterizado pela inaptidão à deformação, o qual suas estruturas sofrem pela tração na flexão quando deformado. Temos como exemplo os pavimentos constituídos principalmente de concreto de cimento.

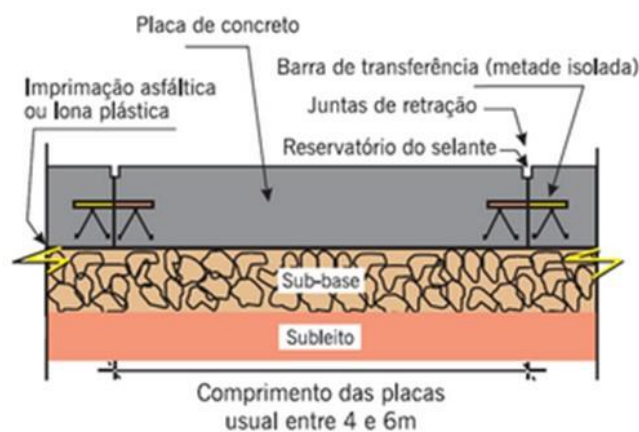


Figura 2 - Seção típica de Pavimento Rígido.

Fonte: Pavimentação asfáltica: Formação Básica para engenheiros PETROBRAS

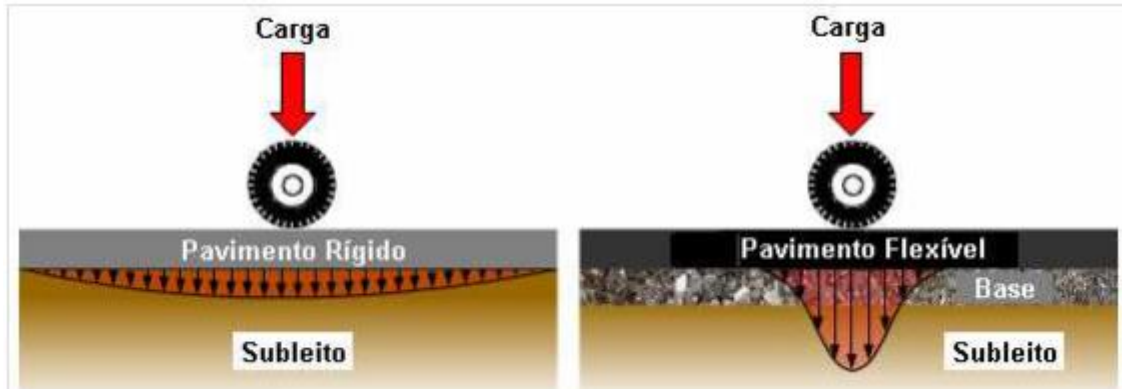


Figura 3 - Distribuição do carregamento em Pavimentos Rígidos e Flexíveis

Fonte: D'Agostin (2010)

2.3 MATERIAIS BETUMINOSOS

Os materiais betuminosos são compostos essencialmente de betume e são de grande emprego na construção civil. Possuem uso preponderante na pavimentação rodoviária e em impermeabilizações, pinturas e muitos outros.

Segundo a NBR 7208, betume é uma mistura de hidrocarbonetos que pode apresentar consistência sólida, líquida ou gasosa, de origem natural ou pirogênica completamente solúvel em dissulfeto de carbono frequentemente acompanhado de seus derivados metálicos.

Características:

- Ponto de Fulgor: Máxima temperatura de manejo sem perigo de fogo (segurança);
- Consiste no aquecimento e exposição à chama até quando os vapores provocarem o lampejo da chama (temperatura de ponto de fulgor);
- Ductilidade: É uma propriedade relacionada à capacidade de deformação sem fissuras.

2.3.1 ASFALTO

O asfalto utilizado em pavimentação é um ligante betuminoso que provém da destilação do petróleo e que tem a propriedade de ser um adesivo termoviscoelástico, 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.

Principais ligantes a base de petróleo:

- CAP - Cimentos asfálticos de petróleo;
- ADP - Asfaltos diluídos de petróleo;
- EAP - Emulsões asfálticas;
- Asfaltos modificados com polímero.

2.3.2 CIMENTO ASFÁLTICO DE PETRÓLEO - CAP

No Brasil utiliza-se a denominação CAP 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 que serão mostradas mais adiante. 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 serviço. O comportamento termoviscoelástico é mais comumente assumido do que o termoviscoplastico, com suficiente aproximação do real comportamento do material. O CAP é um material quase totalmente solúvel em benzeno, tricloroetileno ou em bissulfeto de carbono, propriedade que será utilizada como um dos requisitos de especificação (PETROBRAS, 2006).

2.3.3 ASFALTO DILUÍDO DE PETRÓLEO (ADP)

Os asfaltos diluídos (ADP) são produzidos pela adição de um diluente volátil, obtido do próprio petróleo, que varia conforme o tempo necessário para a perda desse componente adicionado restando o asfalto residual após a aplicação. O diluente serve apenas para baixar a viscosidade e permitir o uso à temperatura ambiente.

No Brasil são fabricados dois tipos de asfalto diluído, chamados de cura média e de cura rápida. O termo cura refere-se à perda dos voláteis e depende da natureza do diluente utilizado.

A denominação dos tipos é dada segundo a velocidade de evaporação do solvente:

- cura rápida (CR) cujo solvente é a gasolina ou a nafta;
- cura média (CM) cujo solvente é o querosene.

A segunda forma de avaliação e denominação é vinculada ao início da faixa de viscosidade cinemática de aceitação em cada classe. Por exemplo, um ligante denominado

CM30 é um asfalto diluído de cura média (CM) cuja faixa de viscosidade a 60°C começa em 30cSt; um CR250 é um tipo cura rápida (CR) com 250cSt de viscosidade inicial.

2.3.4 EMULSÃO ASFÁLTICA DE PETRÓLEO

Uma emulsão é definida como uma dispersão estável de dois ou mais líquidos imiscíveis. No caso da emulsão asfáltica (EAP) os dois líquidos são o asfalto e a água. A emulsão asfáltica representa uma classe particular de emulsão óleo-água na qual a fase “óleo” tem uma viscosidade elevada e os dois materiais não formam uma emulsão por simples mistura dos dois componentes, sendo necessária a utilização de um produto auxiliar para manter a emulsão estável. Além disso, o asfalto precisa ser preparado por ação mecânica que o transforme em pequenas partículas ou glóbulos.

O produto especial chamado de agente emulsionante ou emulsificante é uma substância que reduz a tensão superficial, o que permite que os glóbulos de asfalto permaneçam em suspensão na água por algum tempo, evitando a aproximação entre as partículas e sua posterior coalescência (junção de partes que se encontravam separadas). A proporção típica entre óleo e água é de 60 para 40%. O tempo de permanência da separação entre os glóbulos de asfalto pode ser de semanas até meses, dependendo da formulação da emulsão (PETROBRAS, 2006).

FUNÇÕES DO EMULSIFICANTE

- Diminui a tensão interfacial entre as fases asfáltica e aquosa, evitando a coagulação ou reagrupamento de gotículas;
- Estabiliza a emulsão protegendo os glóbulos por carga ionizada periférica, que provoca repulsão entre os glóbulos;
- Permite a ruptura ou separação entre as duas fases quando em contato com um agregado e ainda provoca uma boa adesão ligante – agregado.

RUPTURA

Glóbulos de asfalto em contato com agregado mineral sofrem uma ionização por parte deste, dando origem a um composto insolúvel em água que se precipita sobre o material.

PROPRIEDADES

- Utilização à frio e agregados úmidos
- Estáveis à estocagem
- Velocidade de ruptura (tipo de emulsificante e teor de emulsificante).

2.3.5 ASFALTOS MODIFICADOS COM POLÍMEROS

Para a maioria das aplicações rodoviárias, os asfaltos convencionais têm bom comportamento, satisfazendo plenamente os requisitos necessários para o desempenho adequado das misturas asfálticas sob o tráfego e sob as condições climáticas. No entanto, para condições de volume de veículos comerciais e peso por eixo crescente, ano a ano, em rodovias especiais ou nos aeroportos, em corredores de tráfego pesado canalizado e para condições adversas de clima, com grandes diferenças térmicas entre inverno e verão, tem sido cada vez mais necessário o uso de modificadores das propriedades dos asfaltos. Entre esses, citam-se asfaltos naturais, gilsonita ou asphaltita, mas especialmente polímeros de vários tipos que melhoram o desempenho do ligante (PETROBRÁS, 2006).

Dentre os polímeros disponíveis, SBS, SBR, EVA e Borracha moída de pneus, o asfalto com borracha foi o mais discutido devido também ao valor ecológico.

2.4 Asfalto Borracha

O asfalto borracha ou asfalto ecológico contém uma adição de pó de borracha extraído de pneus velhos ao ligante asfáltico que aumenta a durabilidade do pavimento em até 40% e começa a se popularizar entre as concessionárias de rodovias brasileiras. Os números são incertos, mas pesquisadores chegam a dizer que há mais de 8 mil quilômetros de estradas pavimentadas com asfalto borracha no Brasil. O número é pequeno diante de uma malha asfáltica de 170 mil quilômetros, mas sua popularização é crescente entre as grandes concessionárias de rodovias.

Os materiais utilizados nas misturas para a fabricação do asfalto-borracha são: borracha de pneus descartados moídos e cimento asfáltico de petróleo, sendo a borracha utilizada no ligante proveniente principalmente de pneus de automóveis. É caracterizado por mistura descontínua com ligante asfáltico modificado por borracha triturada de pneus usados e compactado a quente. Segundo especialistas, quanto maior o teor de borracha aplicado – 5% a

20%, mais eficiente o pavimento, especialmente no quesito durabilidade (MAZZONETTO 2011).

"Em geral, o pavimento de asfalto-borracha é cerca de 40% mais resistente do que o asfalto convencional", explica Paulo Rosa, engenheiro-assessor de projetos especiais da Ecovias, empresa do grupo EcoRodovias.

Além da resistência e diminuição de custos de manutenção, a adição da borracha traz outras vantagens. "O asfalto-borracha tem maior aderência, o que ajuda a evitar derrapagens e reduz o spray causado pelos pneus em dias de chuva", acrescenta o engenheiro. Além disso, pode ser utilizado em qualquer rodovia com as mesmas condições da aplicação do asfalto convencional.

Na avaliação de MAZZONETTO (2011), a durabilidade varia de acordo com as condições da estrada, a temperatura e clima da região, assim como a intensidade do tráfego. "Em uma rodovia de alto tráfego com estrutura de pavimento robusta, o asfalto-borracha pode durar cinco anos, e em uma de baixo tráfego bem estruturada e com as mesmas condições climáticas pode durar 25, 30 anos", aponta o engenheiro Paulo Ruwer, responsável por uma experiência pioneira com asfalto-borracha em 2001 em uma estrada controlada pelo consórcio Univias.

Na pavimentação de 1 km de rodovias com asfalto-borracha, a Ecovias reutiliza 600 pneus e o Univias, 1.000. Para isso é usado pó de borracha - extraído do pneu por empresas especializadas, que fazem com que o material se torne novamente útil como matéria-prima na indústria da borracha. Ao ser quimicamente adicionado ao cimento asfáltico de petróleo (CAP), o composto resultante dessa extração dá ao asfalto as características que pertenciam ao pneu, como a capacidade de não perder as características funcionais por causa da variação de temperatura ou intempéries, e as vantagens de aumentar a estabilidade e prolongar a vida útil do pavimento.

"O CAP tem limitações em termos de trabalhabilidade e a borracha adicionada ao cimento confere propriedades positivas em termos de resistência", assinala Souza. No site da Associação Brasileira das Empresas Distribuidoras de Asfaltos (Abeda) é possível encontrar especificações técnicas do asfalto-borracha.

Além do todo valor ecológico, a aplicação do asfalto borracha tem vantagens com relação ao asfalto convencional como: maior viscosidade, maior elasticidade, sofre menos a variações de temperaturas, maior resistência à raios UV, envelhecimento mais lento, retardamento a reflexão de trinca, diminuição dos níveis de ruídos causados pelo tráfego, maior adesividade aos agregados, mais impermeável, melhor atrito entre pneus e pavimento minimizando os riscos de acidentes mais lento.

Como desvantagens podem citar: maior desembolso na aquisição do Ecoflex, temperaturas mais altas na usinagem e compactação que o ligante convencional e controle técnico mais apurado.

2.4.1 ASFALTO SUSTENTÁVEL: UMA REALIDADE NO BRASIL

O conceito básico de sustentabilidade engloba três elementos importantes conhecidos como sociedade, economia e meio ambiente. A proposta para a engenharia é que sejam usadas técnicas que buscam soluções econômicas, com benefícios para a sociedade e que não prejudiquem o meio ambiente, ou mesmo buscar reciclar materiais que serão descartados na natureza, dando uma nova função para este produto. O outro lado da sustentabilidade é a análise do ciclo da vida útil da estrutura, que envolve fases desde o projeto, escolha de material, construção até a manutenção e possível reutilizar os materiais em outras atividades posteriores.

Na pavimentação esse cuidado já vem sendo analisado, há vários anos a reciclagem tem sido empregada cada vez mais, contemplando as diversas possibilidades de emprego nesse segmento, quer seja “in situ” ou em usinas.

A resolução CONAMA nº 307 de 2002, classifica os resíduos sólidos da construção civil passíveis de utilização na pavimentação, como tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, rocha, argamassas, telhas, pavimentos asfálticos, entre outros.

O Decreto nº 48.075 de 2006, lei da cidade de São Paulo, discorre sobre a obrigação da utilização de agregados reciclados, vindos de Resíduos de Construção Civil (RCC), em obras de pavimentação públicas, material conhecido na literatura internacional como Reclaimed Asphalt Pavement (RAP).

Um material que pode ser empregado na pavimentação é o pó de borracha, que se obtém a partir de pneus descartados de forma inadequada na natureza. A resolução CONAMA nº 258 de 1999 delibera a respeito da coleta e destinação final dos pneus descartados considerados inservíveis para reutilização ou sem possibilidade de reaproveitamento por meio de recapagem, recauchutagem e remoldagem.

Dessa forma, esses materiais podem ser usados para constituir um novo pavimento, atendendo as solicitações de suporte necessárias da estrutura e substituindo as camadas convencionais de pavimento.

Tais materiais são gerados todos os dias em grandes centros urbanos. Somente na cidade de São Paulo, trata-se de um volume estimado de 16 mil toneladas de RCC todos os meses, sem contar o material proveniente de grandes demolições.

Estima-se que somente na cidade de São Paulo, foram gerados em torno de 40 mil toneladas de RAP, segundo a Superintendência das Usinas de Asfalto (SPUA), resultante dos contratos de recapeamento asfáltico no município. Grande parte desse material foi reciclado com espuma de asfalto em usina a frio do tipo KMA 200, e empregado como camada de base de RAP espumado em diversas vias no município. A espuma de asfalto é o estágio temporário do Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP) com baixa viscosidade, que possibilita a homogeneização com os resíduos sólidos.

Diante disso, a Figura 04 apresenta a seção tipo de um pavimento altamente sustentável, considerando em todas as camadas materiais recicláveis.

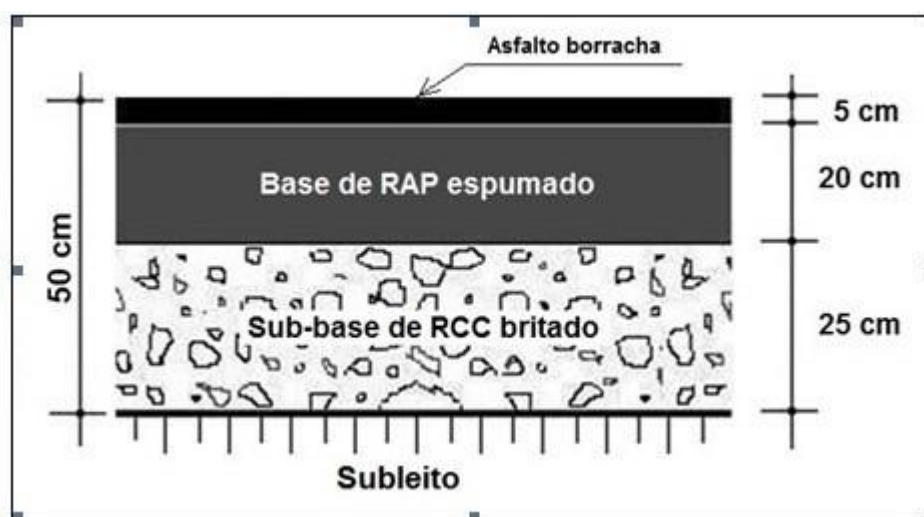


Figura 04 - Seção tipo de um pavimento sustentável

As espessuras das camadas ou até a introdução de uma ou mais camadas, depende do nível de solicitação de tráfego a que estão submetidas as vias

A eficácia dessas tecnologias já foi comprovada em diversas obras realizadas em todo mundo, inclusive no Brasil. O RCC britado como camada de sub-base foi aplicado em mais de 60 vias do município de São Paulo, juntamente com a camada de base de RAP espumado, solução que foi adotada também por diversas concessionárias de rodovias. A camada de rolamento com asfalto borracha também foi amplamente empregada em diversos municípios e concessionárias de rodovias, como o recapeamento no aterro do Flamengo, na cidade do Rio de Janeiro e o recapeamento asfáltico na Via Anchieta pela Ecovias.

A adição de borracha de pneus ao asfalto diminui a suscetibilidade térmica, aumentando a estabilidade do pavimento em altas temperaturas e diminuindo o risco de fraturas e

trincamentos em baixas temperaturas. Além disso, confere resistência superior a 40% se comparado ao asfalto convencional.

As alternativas tecnológicas de materiais sustentáveis, pode, sem sombra de dúvidas, substituir camadas de pavimentos convencionais, resultando desempenho satisfatório, com viabilidade econômica, além de colaborar com o meio ambiente, diminuindo o descarte de resíduos sólidos nos aterros de inertes e minimizando a exploração de jazidas.

2.5 Meio ambiente: pneus descartados na natureza

BORRACHA

A borracha natural é um polímero obtido da seiva da seringueira, árvore de origem amazônica, mas que ganhou o mundo. Para sua extração são feitos pequenos cortes superficiais no caule da árvore, através dos quais o látex é captado. Depois de sua coagulação e secagem, este material é aquecido e posteriormente processado com outras substâncias químicas, transformando-se em borracha.

Com o passar do tempo, criou-se na Alemanha a tecnologia para fabricá-la artificialmente a partir do petróleo. Apesar de a borracha sintética ser muito parecida com a borracha natural, ela não é tão resistente ao calor e racha com a mudança de temperatura muito rápida. Por isso, os artefatos são sempre constituídos de uma parcela da borracha natural.

No Brasil, a maior parte da borracha produzida industrialmente é usada na fabricação de pneus, correspondendo a 70% da produção (Blog, 2015).

O PNEU

Os pneus foram inventados em 1845, depois que o norte-americano Charles Goodyear descobriu casualmente o processo de vulcanização da borracha, quando deixou cair borracha e enxofre no fogão.

Tornaram-se então substitutos das rodas de madeira e ferro, usadas em carroças e carruagens. A borracha além de ser mais resistente e durável, absorve melhor o impacto das rodas com o solo, o que tornou o transporte mais confortável e funcional.

A maior parte dos pneus hoje é feita de 10% de borracha natural (látex), 30% de petróleo (borracha sintética) e 60% de aço e tecidos (tipo lona), que servem para fortalecer ainda mais a estrutura (Blog, 2015).

A figura 5 a seguir apresenta um fluxograma de reaproveitamento de pneus descartados, suas consequências diante do meio ambiente e os possíveis modos de reutilização:

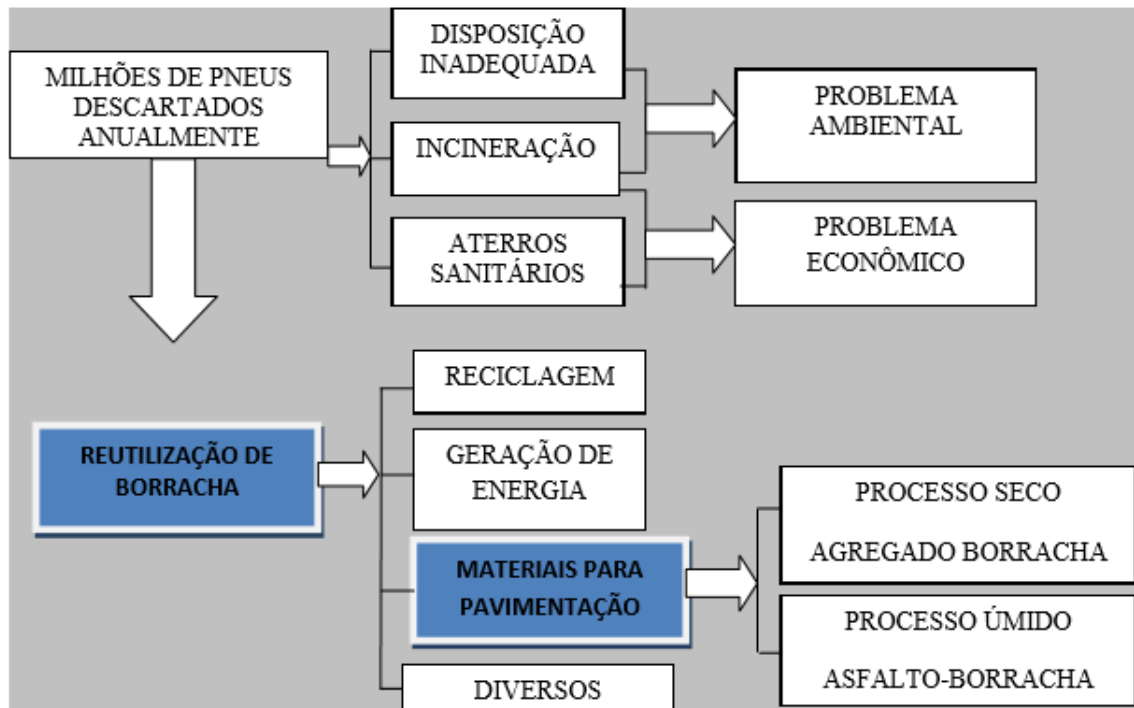


Figura 5 - Esquema do reaproveitamento de pneus descartados

Para se reaproveitar os pneus inservíveis na pavimentação, o pneu deve passar por um processo de trituração e moagem, onde é realizada a separação do aço e do náilon, pois apenas a borracha em pó é misturada com o asfalto.

2.5.1 PRODUÇÃO X DESCARTE

Um estudo realizado pela Universidade de Vrije, na Holanda, descobriu que são fabricados diariamente uma média de 2 milhões de pneus no mundo. Isto resulta numa produção média anual de 730 milhões de pneus (janeiro/1999). Ao mesmo tempo, são descartados 800 milhões de pneus anualmente.



Figura 6 - Pneus descartados ao meio ambiente.

Fonte: BLOG Quero Frete, 2015.

Em 1993, no Brasil, 0,5% do lixo urbano eram de pneus velhos e foras de uso. Hoje no país, cerca de 17 milhões de pneus se transformam em sucatas. Quanto mais aumenta a frota de veículos, maior a quantidade de pneus inutilizados.

Os proprietários, ainda hoje, sentem dificuldades em descartar pneus velhos e com isso acabam abandonando em áreas impróprias, contribuindo com a poluição do meio ambiente como também proliferação de insetos que causam doenças na sociedade.

Os pneus são compostos por materiais, usados em sua fabricação, que podem durar em média 600 anos para se decompor, uma solução mais prática que seria a queima desses pneus, gera a emissão de gases altamente tóxicos a atmosfera e prejudiciais à saúde (Blog, 2015).

Com base em tudo isso, os pneus estão entre os maiores problemas ambientais.

3. METODOLOGIA

3.1 METODOLOGIA DO PROJETO

Os caminhos de pesquisas que me direcionaram para a elaboração desta monografia foram livros e publicações relacionados ao assunto. Como o tema ainda é uma novidade no Brasil o material de apoio que adotei ainda está muito virtual, sites e blogs com encartes explicativos de empresas do ramo.

Neste trabalho foram tratados alguns conceitos que envolvem meio ambiente, passando por uma definição de pavimentos e até chegar ao ponto de conceito do Asfalto borracha, explicando suas fontes.

A proposta do estudo é fazer uma análise comparativa das vantagens e desvantagens do asfalto borracha em relação aos tipos mais convencionais, avaliando condições climáticas, custo-benefício, meio ambiente, durabilidade, viabilidade técnica e desempenho.

O Brasil é um país rodoviarista que transporta a maior parte de suas cargas e pessoas por terra. Uma rodovia em mau estado de conservação acarreta em maior quantidade no custo de combustível, desgaste de pneus e acidentes. A finalidade de uma rodovia é prover um meio seguro e confortável para o transporte de seus usuários. Uma vez que as estradas são ligações entre comunidades e abrem novos horizontes servindo para o desenvolvimento social e consolidação da economia regional.

O asfalto tem sido o material mais usado na construção de rodovias e vias urbanas, porém o aumento de veículos comerciais e transportadores de cargas pesadas tem levado ao fracasso prematuro do pavimento, causando assim custos com a reparação e manutenção, como também engarrafamentos que geram atrasados nas entregas de cargas e no transporte de usuários.

3.2 RODOVIAS FEDERAIS QUE RECEBEM O ASFALTO BORRACHA

Em agosto de 2001 ocorreu a primeira aplicação no Rio Grande do Sul realizado pela GRECA asfaltos, empresa pioneira em asfalto borracha no Brasil, o ECOFLEX. Hoje a tecnologia do produto está em sua 3ª geração, diferencial que enfatiza a diminuição de emissões de CO₂ e NO₂ proveniente do consumo de combustíveis durante a operação de usinagem a quente das massas asfálticas.

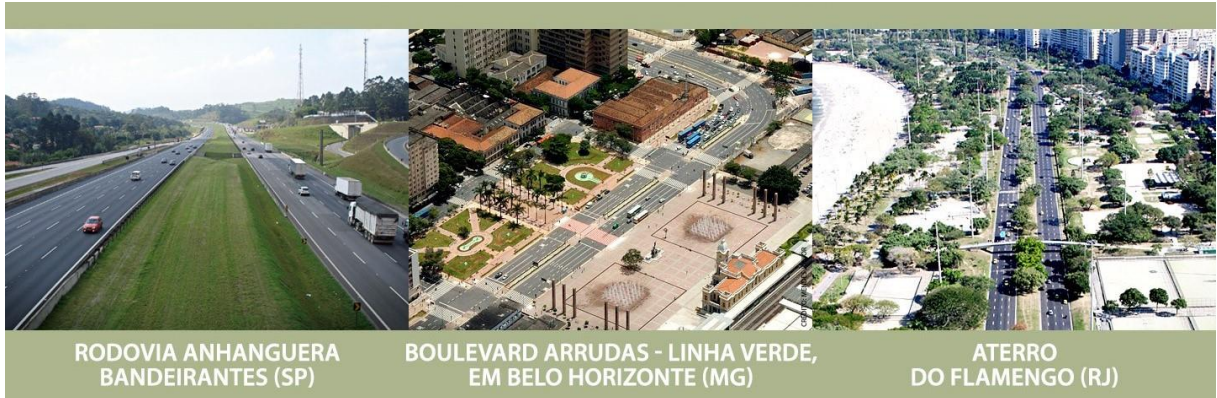


Figura 7: Principais vias com revestimento de Asfalto Borracha nas regiões sudeste do país.



Figura 8: Vias com revestimento de Asfalto Borracha nas regiões sul e sudeste do país.

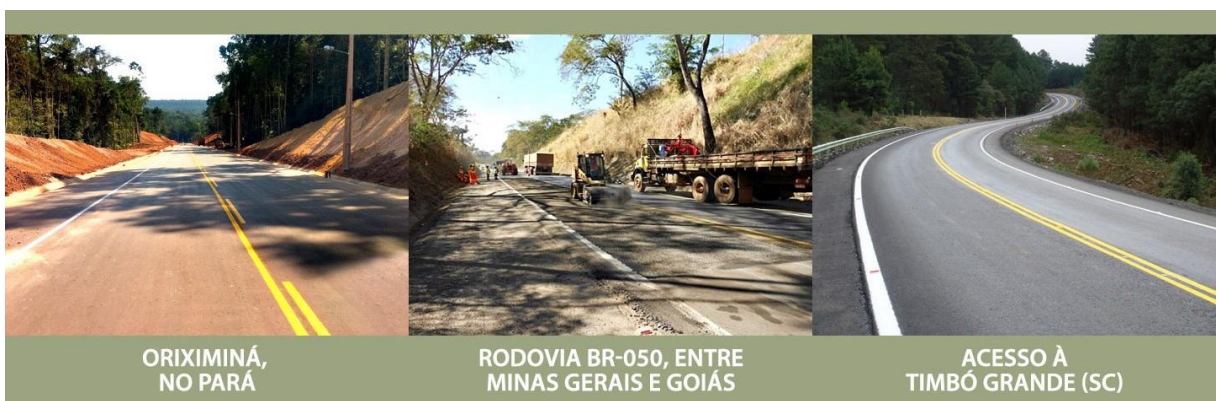


Figura 9: O Asfalto Borracha começa a ser usado na região norte do país pelo estado do Pará.

Fonte: Greca Asfaltos

O sucesso do ECOFLEX se deve essencialmente à parcerias com Concessionárias Rodoviárias e Órgãos Governamentais. Destacam-se obras junto ao DNIT e DER de São Paulo, Paraná, Santa Catarina, Minas Gerais e Prefeituras de São Paulo, Curitiba, Rio de Janeiro, Florianópolis e Belo Horizonte.

3.2.1 RECUPERAÇÃO DO SISTEMA ANCHIETA-IMIGRANTES COM ASFALTO BORRACHA

A Concessionária Ecovias dos Imigrantes vem desde o início da concessão, em 1998, executando trechos nas rodovias sob sua administração com diferentes misturas usinadas a quente, a fim de definir qual delas teria o melhor desempenho para a restauração de sua malha. Dentre todos os estudos realizados, a melhor relação de custo x benefício foram as executadas com Asfalto Borracha.

Visando a necessidade da restauração da sua malha viária, em 2006 e 2007, a Ecovias dos Imigrantes em parceria com a GRECA ASFALTOS estão executando, desde julho de 2003, trechos experimentais com a utilização de asfalto modificado por borracha de pneus (ECOFLEX) na Via Anchieta utilizando diversas misturas usinadas a quente – CBUQ e asfalto borracha.

O programa de restauração da Ecovias prevê investimentos de aproximadamente R\$165mi na recuperação e adequação funcional do pavimento, compreendendo investimentos nas Rodovias dos Imigrantes

“Em 2005 iniciou-se o programa de recuperação de pavimento que atingirá 100% das rodovias integrantes do SAI, até o final de 2007. Até lá, 191km de rodovias passarão por completa recuperação. Deste total, 146km receberão o asfalto ecológico – ou Asfalto Borracha, que tem na sua composição pneus velhos triturados. Este asfalto, apesar de 30% mais caro do que o normal, tem maior durabilidade, o que ampliará o período de sua manutenção. Com isto, evita-se o transtorno de obras, principalmente no trecho de serra da Via Anchieta. Além dessa característica, o asfalto ecológico é mais flexível e aderente, e em dias de chuva reduz o chamado spray, aumentando a segurança para o usuário. Para esta aplicação, a Ecovias adquiriu uma usina de asfaltos própria, que irá melhorar a qualidade do produto aplicado em suas estradas, como agilizará todo o processo de manutenção das mesmas” – Eng. Antonio Martins, da Ecovias dos Imigrantes.

3.3 ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA

A implantação das faixas adicionais da Rodovia Anhanguera contou com uma tecnologia conhecida como “Mistura Asfáltica Morna” que foi utilizada na execução da obra. Essas misturas são produzidas em temperaturas mais baixas até 40% em relação aos métodos convencionais, o que reduz o consumo de energia e a emissão de poluentes geralmente liberados em obras asfálticas. A tecnologia teve um bom desempenho utilizada em parceria com o asfalto borracha, dando assim um destino útil a muitos pneus velhos.

Por controle de custos as técnicas de manutenção usam de misturas delgadas com ligantes extremamente duros, conduzindo a novas patologias, como trincas de fadiga e degradação do pavimento. O asfalto é um excelente material, com facilidade de implantação e baixo custo em relação aos demais serviços, porém, apresenta suas limitações.

Devido a determinadas misturas, a presença de umidade na interface do agregado leva a perda de material pétreo, o betume perde resistência quando o pavimento sofre deflexões, em temperaturas muito baixas o asfalto se torna rígido o que favorece o aparecimento de trincas e em altas temperaturas pode causar deformações plásticas no pavimento e também tem tendência a oxidação conforme o tempo de vida.

Entretanto, com a adição de polímero ou pó de borracha aumenta-se a durabilidade do pavimento devido a obtenção de um material com excelentes propriedades elásticas e de alta viscosidade em ambas as temperaturas. Além das vantagens com viabilidade na função de pavimento o Asfalto Borracha ainda tem interferência positiva no meio ambiente, já que a borracha usada em seu processo vem de pneus descartados na natureza e sem nenhuma utilidade que não seja a poluição e degradação demorada, com base que um pneu demora aproximadamente, 600 anos para se decompor na natureza.

Com a mistura do pó de borracha (que se assemelha a uma farinha preta), o ligante asfáltico fica mais viscoso, mais grosso, e precisa de uma temperatura maior para ficar líquido e se tornar trabalhável. Enquanto o asfalto convencional exige calor de 60° ou 70°, o asfalto-ecológico precisa de 170° ou até 180°, dependendo da quantidade de pó de borracha adicionado a ele. No final, nem se vê a borracha dissolvida. A última etapa é adicionar pedra ao ligante e aplicar na estrada.

Porém, ainda em virtude a falta de incentivo e mesmo de informações, o asfalto borracha ainda não está sendo utilizado em grande escala no Brasil como nos outros países, isso se deve ainda ao seu alto custo.

O asfalto borracha, mesmo com um custo de fabricação mais elevado, tem uma vida útil prolongada e com um quadro de vantagens significativo comparado ao asfalto convencional, uma solução para maior durabilidade das rodovias como também para problemas ambientais gerados por pneus descartados.

3.4 DESEMPENHO DOS PAVIMENTOS

A pesquisadora e professora da UFSC, Liseane Padilha Tives avaliou propriedades e o desempenho mecânico das misturas com o asfalto borracha. A incorporação da borracha triturada dos pneus no asfalto produz melhorias como aumento na resistência à fadiga e à deformação da mistura asfáltica. Melhora também a capacidade de retardar a propagação de trincas nos revestimentos asfálticos.

A borracha dos pneus é usada nos Estados Unidos há 40 anos, mas os estudos no Brasil começaram a partir da década de 90. O material ainda precisava de avaliações do comportamento mecânico para prever seu uso como camada de revestimento.

A pesquisa revelou que a redução de espessura das camadas betuminosas de desgaste e a mistura asfalto-borracha representaram uma economia de até 32% em relação ao material convencional.

O uso da tecnologia não só melhora a qualidade do pavimento, como é uma alternativa para o problema do depósito inadequado dos pneus usados. A composição é produzida com pneu usado triturado por meio de dois processos (à temperatura ambiente e criogênico), formando a borracha granulada que, adicionada ao asfalto, dá origem ao asfalto-borracha.

A adição de borracha de pneus usados no asfalto para produção de misturas asfálticas, além de melhorar seu desempenho, contribui também para o destino final adequado de um resíduo sólido, o pneu usado. Os benefícios da utilização do asfalto-borracha, são principalmente o aumento da resistência ao envelhecimento e à oxidação, melhora de resistência à fadiga e propagação de fendas e também maior resistência à deformação permanente.

Dentre as vantagens de desempenho, temos: diminuição na emissão de poluentes, economia de combustíveis, conservação dos equipamentos nos veículos, liberação mais rápida no tráfego devido ao conforto para os usuários, maior segurança e conforto para os usuários e aumento da vida útil do pavimento, economizando assim com o custo de manutenção e reparos.

Os resultados observados a partir do emprego do asfalto borracha mostra que este garante vantagem ao asfalto convencional em relação ao aparecimento de trincas no revestimento. No uso do asfalto borracha elas aparecem de 5 a 6 vezes mais lentamente que no asfalto convencional, dados esses fornecidos pela Greca Asfaltos, empresa pioneira do Ecoflex no Brasil. Portanto, o recapeamento de asfalto borracha é mais eficiente quanto ao retardador de reflexão de trincas se tornando uma técnica promissora para recapeamentos de vias com pavimentos trincados.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A nível de conhecimento, estão listadas abaixo as principais empresas que já aderiram ao asfalto borracha em suas obras desde agosto de 2001:

Univias/RS	DER/PR Ecovia/PR	Guaíba/RS
Coviplan/RS	Ecovias dos Imigrantes/SP	Caminhos do Paraná/PR
Viapar/PR	Triunfo Estrutural/SP	Nova Dutra/SP
Rodonorte/PR	Redram/PR	Rodovia das Colinas/SP
Vias/SP	Conter/SP	DER/MG
Enercan/SC	Concepa/RS	DEINFRA/SC
Econorte/PR	CBEMI/PR	DER/SP
Intervias/SP	Brasília	

4.1 RODOVIAS ESTADAIS QUE RECEBEM O ASFALTO BORRACHA

O asfalto-borracha tem sua estrutura formada por 20% de pneus velhos e, apesar de custar 30% mais caro que o comum, é muito mais resistente, podendo durar até 5,5 vezes mais que os asfaltos tradicionais. Além dos benefícios ambientais, esse tipo de asfalto ecológico é mais aderente, proporcionando mais segurança ao motorista.

Estradas estaduais são pavimentadas com asfalto borracha, devido a lei nº 14.691, sancionada pelo governo do estado de São Paulo que determina o uso do pavimento como forma de conservação das pistas. Desde que a lei entrou em vigor muitas estradas já estão sendo pavimentadas com o asfalto borracha.

O primeiro trecho a receber o material foi a serra da Anchieta, por onde trafega a maior parte dos veículos de carga que se dirigem ao Porto de Santos. A intenção foi apostar no material mais resistente e que exigisse menos intervenções para manutenção. “Sabemos que, quanto menos interdições precisarmos fazer para manter as rodovias em boas condições, melhor para o usuário”, comenta o engenheiro da Ecovias Paulo Rosa.

A Rodovia dos Bandeirantes, no trecho entre Campinas e São Paulo, sentido Capital, foi pavimentada com o asfalto borracha, usando borracha obtida através de pneus inutilizados. E a concessionária Ecovias, que administra o Sistema Anchieta-Imigrantes, utiliza o material em mais da metade de todo o pavimento das rodovias administradas.

A estrada, que liga São Paulo ao município de Cordeirópolis, teve o trecho entre os quilômetros 85 e 78, no sentido capital, recuperado usando uma mistura de pavimento reciclado com asfalto-borracha. A concessionária CCR AutoBAN, que administra a estrada, informou que a operação reciclou cerca de 450 mil pneus e o equivalente a 36 piscinas olímpicas de asfalto velho.

O engenheiro Guilherme Bastos, da AutoBAN (que administra o sistema Anhanguera-Bandeirantes) explica que o asfalto é uma espécie de concreto que usa derivado de petróleo. O asfalto-borracha é um cimento asfáltico de petróleo modificado com a adição de borracha proveniente da moagem de pneu.

4.2 CONTABILIDADE ECOLÓGICA

Em consulta ao site da Greca, tem-se o acesso aos números de pneus que foram reaproveitados e as malhas asfálticas que foram construídas. São mais de 10 anos de aplicação que geraram resultados satisfatórios nos quesitos ambiental, econômico e viabilidade técnica.

O impacto da retirada desses pneus é algo irreversível, uma vez que deixam de ser produtos de poluição e se tornam solução, além de todo esse valor ecológico precisa-se destacar as vantagens que o pavimento adquire com a mistura de pó de borracha. É comprovado por usuários que este pavimento tem maior durabilidade, melhor conforto aos motoristas, reduz o ruído causado pelo atrito do pneu com o pavimento. Com todas as vantagens comprovadas faz com que o custo de até 50% mais caro que o convencional seja compensado, ganhando também em vida útil e menor gastos com manutenções.

Para uma tonelada de asfalto são usados de 150 quilos de pó de borracha, o que significa um aproveitamento de cerca de mil pneus para cada quilometro de rodovia pavimentada.

A figura a seguir, disponibilizada no site na Greca, faz um levantamento do uso de pneus entre os anos de 2001 a 2013, considerando pistas de pouco mais de 7m de largura encontramos pouco mais de 1.000 pneus por quilômetro. Apenas no ano de 2012 foram usados mais de 1.000.000 de pneus. Além de sustentabilidade, o ECOFLEX garante durabilidade e segurança ao pavimento.

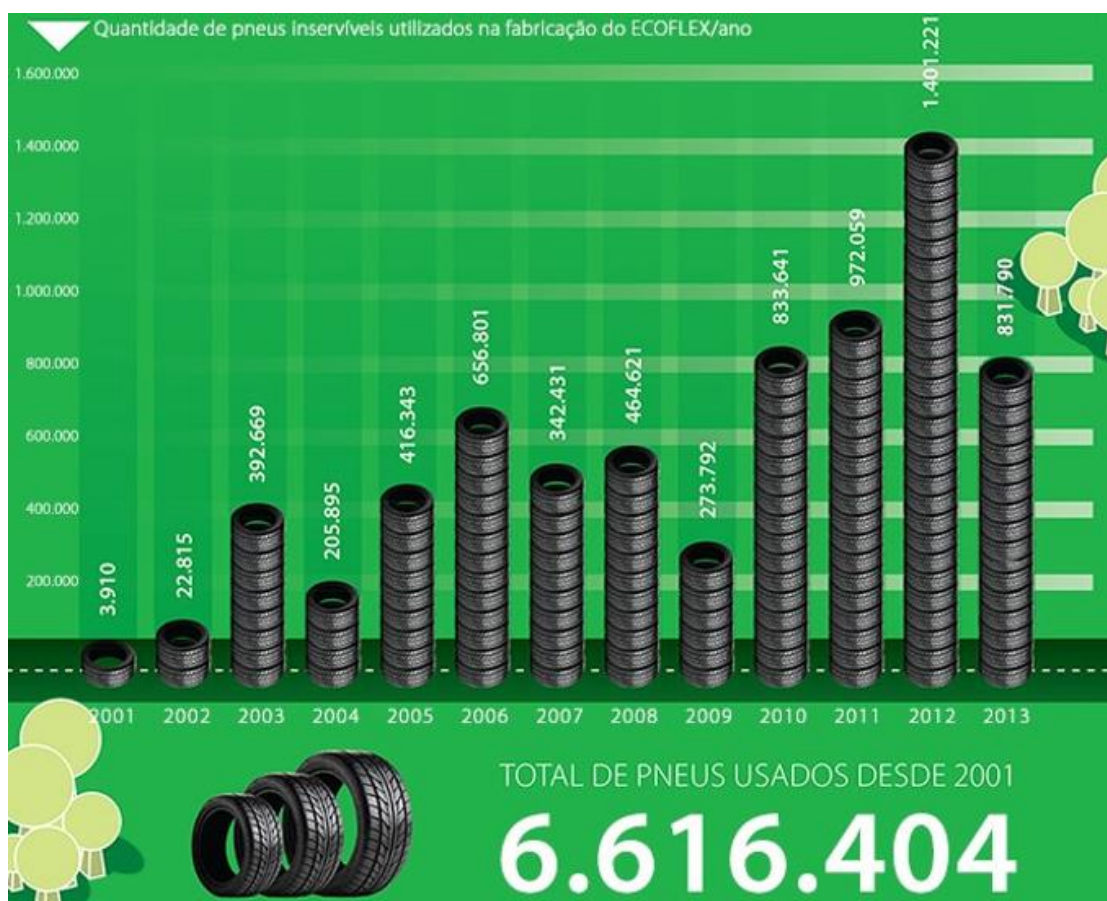


Figura 10: Relação de pneus usados de 2001 a 2013

Fonte: Greca Asfalto: Contabilidade ecológica – Asfalto-borracha (2013).

O lado ecológico do asfalto borracha é muito importante, em pouco mais de 10 anos foram quase 7 milhões de pneus do meio ambiente, que além de poluir também favorecem na proliferação de doenças como a dengue.

A Associação Nacional de Indústria Pneumática (ANIP) possui 469 pontos de coleta de pneus inservíveis espalhados pelo Brasil. Após recolhidos, os pneus são triturados e encaminhados ao reaproveitamento, para servirem de matéria-prima para essas pavimentações e muitas outras coisas.

Já a empresa CCR AutoBan, preocupada com o meio ambiente utilizou uma usina móvel, que faz reciclagem do asfalto antigo no próprio canteiro de obras, o que evita as emissões

geradas pelo transporte do asfalto, desde o local de fabricação até a pavimentação. Essas usinas móveis têm capacidade para produzir 200 toneladas de material reciclado por hora. O asfalto velho é triturado e enriquecido com cimento e pó de pedra, para depois ser reaplicado. Com a reciclagem, a AutoBAn reaproveitará o equivalente a 14 mil caminhões de asfalto removido das pistas.

Para recuperar, ecologicamente, seus primeiros 600 quilômetros de pistas a concessionária investiu cerca de R\$ 82 milhões e retirou aproximadamente 450 mil pneus da natureza.

O asfalto borracha é cerca de 30% mais caro que o asfalto convencional, porém é cerca de 40% mais resistente. O engenheiro da AutoBAn confirma que esse maior investimento no consumo desse tipo de pavimento é compensado pelo tempo de durabilidade e vida útil. “O preço é maior, mas compensa o investimento já que você tem aumento da durabilidade do asfalto e traz uma segurança maior para o usuário. Temos um acréscimo de vida útil de 20%”, afirma Bastos.

4.3 AVALIAÇÃO ECONÔMICO-FINANCEIRA DE UMA OBRA COM ASFALTO-BORRACHA

A Greca disponibiliza, em seu site, um dos mais importantes estudos sobre o asfalto borracha. Teve início em 2003 e ocorreu na cidade Porto Alegre na Área de Pesquisas e Testes em Pavimentos. Foram construídas duas pistas experimentais, uma utilizando revestimento convencional, com CBUQ com ligante CAP 20 e outra com revestimento de asfalto borracha. Os testes foram feitos por simuladores de tráfego linear, toda a pesquisa teve pareceria e acompanhamento da UFRGS, Consorcio Univas e GRECA Asfaltos.

Os resultados obtidos mostram que o revestimento de CBUQ com asfalto borracha teve um comportamento muito superior ao revestimento de CBUQ convencional. A vida útil de um revestimento com asfalto borracha é muito maior comparado ao convencional. Já nos primeiros testes o revestimento convencional estava completamente trincado, após 98.000 ciclos de carga de eixo de 10 tf, enquanto o revestimento com asfalto borracha, as trincas só começaram a aparecer após 123.000 ciclos da mesma carga de eixo.

Os experimentos se encerraram em março de 2005, aos 523.000 ciclos de carga, e o grau de trincamentos da pista com Asfalto-borracha ainda era muito baixo e muito inferior ao grau de trincamentos da pista com CAP 20 convencional.

Obtiveram também que as trincas se refletiram no asfalto borracha 5 a 6 vezes mais lentamente que no asfalto convencional. De forma que a eficiência do asfalto borracha como retardador de trincas foi em média 5,55 vezes superior ao convencional. Porém para estabelecer um fator de eficiência, é necessário definir-se um fator de correção que leve em conta as diferentes temperaturas médias das estruturas durante os períodos de solicitação. Além disso, o recapeamento com Asfalto-borracha proporcionou ao pavimento melhor condição estrutural, como mostraram as deformações registradas por sensores inseridos na interface do revestimento.

Foram realizados também estudos no Laboratório de Tecnologia de Pavimentação do Departamento de Engenharia de Transportes da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, com foco em ensaios sobre a deformação permanente em revestimentos asfálticos por meio do simulador LCPC4. Estudos realizados pela USP analisaram o comportamento à deformação do asfalto borracha em comparativo com os ligantes convencionais. As misturas que levam a borracha mostraram deformações muito inferiores ao pavimento convencional. Logo, concluiu-se que o asfalto borracha é menos suscetível à aparição de trincas e mais resistente a deformações.

A seguir, é apresentada a análise de custo de uma obra de restauração de 30 km de extensão em que o projeto especifica a aplicação de uma camada de concreto asfáltico com ligante convencional de 5 cm de espessura. Foi feito um comparativo para o revestimento com Asfalto-borracha com redução de espessura de 30%, ou seja, com 3,5 cm de reforço que deixa a resistência equivalente ao convencional.

Portanto, para 30 km, se obtém as seguintes quantidades de massa asfáltica, conforme demonstrado no quadro 1 abaixo:

Revestimento em CBUQ convencional:	Revestimento em CBUQ com asfalto borracha com redução de 30%:
30.000 m x 7,00 m x 0,5 m x 2500 t/m ³ = 26.250 toneladas de massa asfáltica de CBUQ convencional	30.000 m x 7,00 m x 0,35 m x 2500 t/m ³ = 18.375 toneladas de massa asfáltica de CBUQ com asfalto borracha

Quadro 1: Comparação de revestimento com revestimento CBUQ Convencional X CBUQ com asfalto-borracha

Fonte: Greca Asfalto: Estudo Ecoflex (2009).

Considerando que a produção da usina de asfalto seja de 9.000 toneladas por mês, tem-se 3 meses para aplicar o CBUQ com asfalto convencional e aproximadamente 2 meses para o Asfalto-borracha (no caso da redução de 30%). Implica dizer que, se economiza um mês de custo fixo das instalações industriais e da mão-de-obra necessária para a aplicação do revestimento.

Premissas adotadas:

- Preço do CAP é de R\$1.150,00/tonelada;
- Preço do Asfalto-borracha é de R\$1.550,00/tonelada;
- Os preços acima são do ano de 2009 e não estão inclusos valores de transporte;
- O teor de ligante da mistura asfáltica com CAP-50/70 considerado é de 5,0% e o teor de ligante da mesma mistura com asfalto borracha é de 5,5%.

Considera-se, então, o aumento de teor do ligante asfalto borracha na mistura asfáltica já que este é muito mais viscoso que o ligante convencional.

Os preços por tonelada que remuneram todos os insumos e a aplicação da massa na pista, de forma expedita, são os descritos no quadro 2 a seguir:

CBUQ com revestimento convencional	R\$ 200,00 por tonelada
CBUQ com asfalto borracha	R\$ 230,00 por tonelada

Quadro 2: Comparação de revestimento com revestimento CBUQ Convencional X CBUQ com asfalto-borracha

Fonte: Greca Asfalto: Estudo Ecoflex (2009).

Observa-se na tabela acima, o preço de execução do Asfalto-borracha é 15% mais caro que o preço de execução de CBUQ convencional, essa majoração remunera os custos para elevar as temperaturas de usinagem da mistura asfáltica e para aumentar a eficiência na compactação do revestimento. Considerando os dados já mencionados, segue descrição dos custos de execução dos revestimentos de CBUQ com cada tipo de asfalto, conforme descrito no quadro 3:

GRANDEZAS	CÁLCULO	UNIDADE	TIPO DE ASFALTO		
			CAP 50/70	ASFALTO BORRACHA (ECOFLEX)	
A	Quantidade de massa asfáltica CBUQ produzida	-	ton	26.250	18.375
B	Custo de Usinagem/Aplicação por tonelada de CBUQ aplicado	-	R\$/ton	200,00	230,00
C	Quantidade de massa x Custo de Usinagem/Aplicação	A x B	R\$	5.250.000,00	4.226.250,00
D	Teor de Asfalto	-	% peso	5%	5,5%
E	Custo de Asfalto por tonelada	-	R\$/ton	1.150,00	1.550,00
F	Custo Asfalto no CBUQ	A x D x E	R\$	1.509.375,00	1.566.468,75
G	Custo Total da Obra	C + F	R\$	6.759.375,00	5.792.718,75

Quadro 3: Comparação de revestimento com revestimento CBUQ Convencional X CBUQ com asfalto-borracha

Fonte: Greca Asfalto: Estudo Ecoflex (2009).

A redução de custo quando se utiliza o revestimento de CBUQ com Asfalto Borracha, dada em porcentagem pelo cálculo:

$$\% \text{ Redução de Custo} = \frac{(6.759.375,00 - 5.792.718,75) \times 100}{(6.759.375,00)}$$

Como mostra o quadro 5 a seguir:

Redução de custo do CBUQ com Asfalto Borracha em substituição ao CAP convencional	R\$	966.656,25
	%	14,3

Quadro 4: Comparativa de redução de custo de revestimento CBUQ Convencional x CBUQ com asfalto-borracha

Fonte: Greca Asfalto: Estudo Ecoflex (2009).

4.4 AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE FINANCEIRA DE PROJETOS COM UTILIZAÇÃO DO ASFALTO-BORRACHA EM RELAÇÃO AO ASFALTO CONVENCIONAL.

Um outro estudo foi realizado a fim de comprovar a viabilidade financeira da utilização do asfalto borracha. Dessa vez, realizado em Curitiba, foram selecionados dois trechos de 100 metros para cada tipo de revestimento com tráfego semelhante nas duas pistas.

O trabalho comparou os dois métodos de pavimentação, dando ênfase aos custos de projeto de execução e manutenção. As vias foram executadas em 2005, e após 7 anos foram analisados os níveis de desgaste e os custos para reparação de cada uma das vias.

Para estes valores foram utilizadas as tabelas da Prefeitura Municipal de Curitiba, que foi o órgão responsável pela execução da obra em 2005. Como a via é municipal, seria também este órgão responsável pela manutenção. Os cálculos comparativos foram realizados com base nas estimativas de qual porcentagem de cada trecho, asfalto-borracha e asfalto convencional, deveria ser recuperado após sete anos de uso.

Após 7 anos de utilização da via em estudo, realizou-se uma análise visual e chegou-se a conclusão que aproximadamente 70% do trecho com revestimento convencional sofreu algum tipo de manutenção, enquanto o asfalto-borracha precisou somente de 10% de reparo. Para comparação de custos foram consultadas as tabelas da Prefeitura de Curitiba em exercício no ano de 2012. Ressaltou-se que o custo de manutenção era o mesmo para o asfalto convencional e o asfalto-borracha, uma vez que a manutenção se dava da mesma forma para ambas as formas de pavimentação. Os custos levantados de execução e manutenção seguem abaixo:

- 1) - Execução de pavimento em asfalto convencional com preparo de base: R\$ 46,66/m²
- 2) - Execução de pavimento em asfalto-borracha com preparo de base: R\$ 77,22/m²
- 3) - Manutenção em asfalto convencional: R\$ 67,30/m²

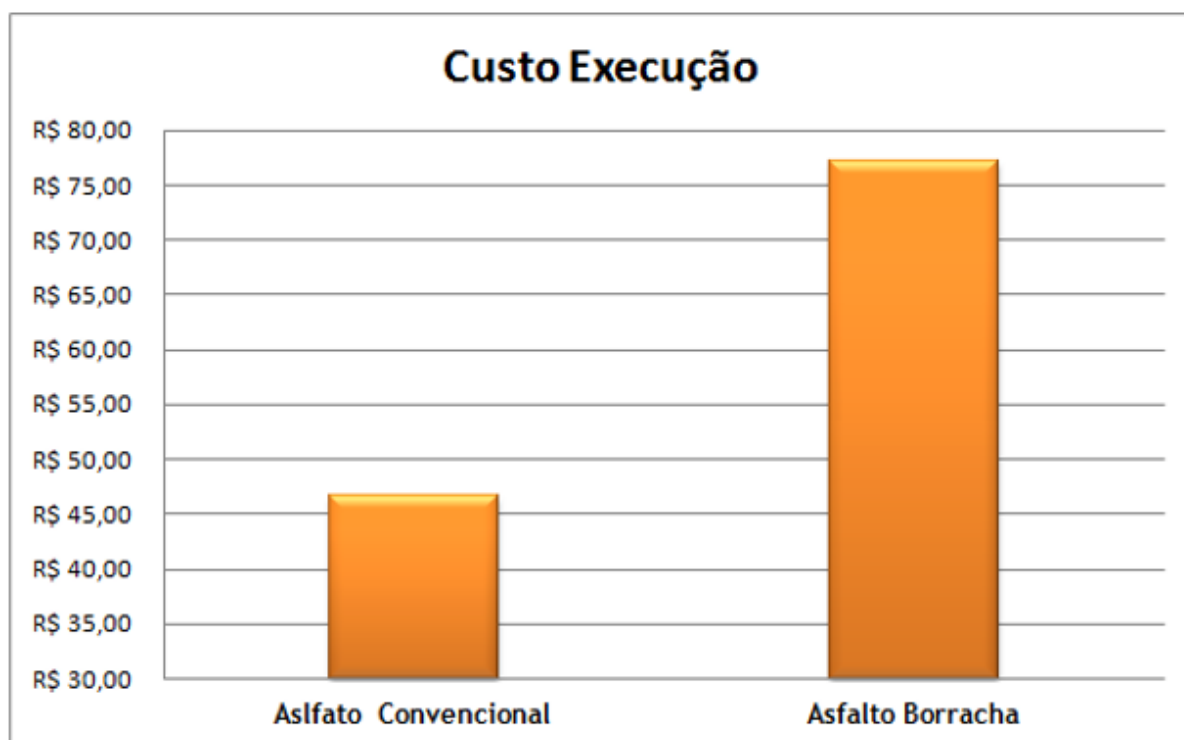


Gráfico 1: Custo de execução - Avaliação da Viabilidade Financeira de Projetos com Utilização do Asfalto-Borracha em Relação ao Asfalto Convencional

Fonte: SANCHES; GRANDINI; JUNIOR, (2012).

Com base nos dados analisados fica evidente que o custo para execução do asfalto borracha é maior, percentualmente, um valor 65,49% maior. Porém, como já citado antes, após 7 anos de uso foi observado que o nível de desgaste da via com o asfalto borracha é muito inferior ao desgaste na via com revestimento convencional, o que diminui o custo com manutenção. Sendo assim, aplicando percentualmente a quantidade de manutenção necessária em cada trecho, obtiveram-se novos valores para o custo de manutenção a ser aplicado:

- 1) Manutenção do asfalto-borracha: $\mathbf{R\$ 67,30\ m^2 \times 10\% = R\$ 6,73\ m^2}$
- 2) Manutenção do asfalto convencional: $\mathbf{R\$ 67,30\ m^2 \times 70\% = R\$ 47,11\ m^2}$

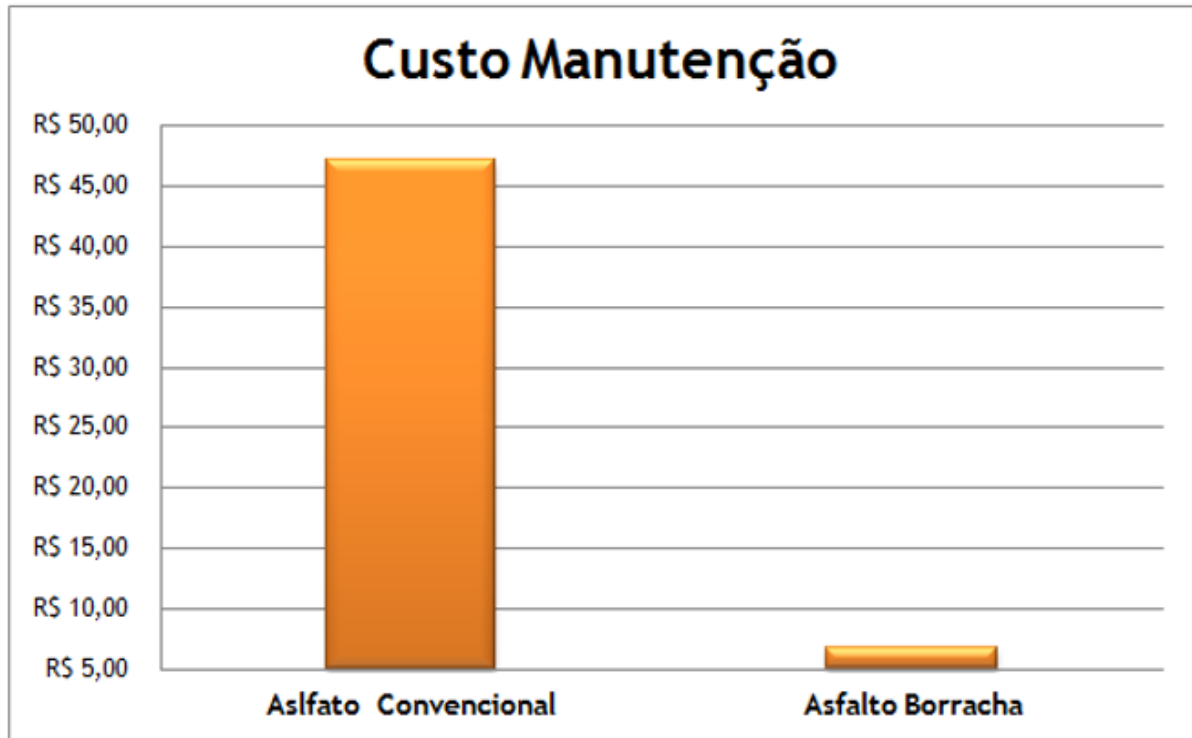


Gráfico 2: Custo de manutenção - Avaliação da Viabilidade Financeira de Projetos com Utilização do Asfalto-Borracha em Relação ao Asfalto Convencional

Fonte: SANCHES; GRANDINI; JUNIOR, (2012).

Fazendo um comparativo nos valores de manutenção, fica clara a diferença entre os reparos em revestimentos convencionais e revestimento com asfalto borracha. Portanto, para se ter um valor exato foi necessário somar custos de execução e manutenção. Sendo assim:

- 1) Manutenção + Execução do Asfalto Borracha: $\text{R\$ } 6,73 \text{ m}^2 + \text{R\$ } 77,22/\text{m}^2 = \text{R\$ } 83,95 \text{ m}^2$
- 2) Manutenção + Execução Asfalto Convencional: $\text{R\$ } 47,11 \text{ m}^2 + \text{R\$ } 46,66/\text{m}^2 = \text{R\$ } 93,77 \text{ m}^2$

GRANDEZAS		CÁLCULO	UNIDADE	TIPO DE ASFALTO	
				CAP 50/70	ASFALTO BORRACHA (ECOFLEX)
A	Execução do pavimento com preparo de base em extensão	-	m	200	200
B	Custo de execução do pavimento com preparo de base	-	R\$/m ²	46,66	77,22
C	Manutenção do pavimento no período de 7 anos	-	% m ²	70%	10%
D	Custo geral da manutenção do pavimento	-	R\$/m ²	67,30	67,30
E	Percentual de Custo Manutenção do pavimento	C x D	R\$/m ³	47,11	6,73
E	Custo de execução + manutenção do pavimento	B + E	R\$/m ²	93,77	83,95

Quadro 5: Custo de manutenção + execução

Fonte: SANCHES; GRANDINI; JUNIOR, (2012).

Somando-se a execução e a manutenção teve-se um custo 11,69% maior para o asfalto convencional neste período de 7 anos. Apesar de a execução ter ocorrido no ano de 2005, todos os valores comparativos foram de 2012, logo não se fez necessária a correção monetária deste valor.

4.5. DESEMPENHO EM TRECHOS EXECUTADOS

Em 2006, o grupo Ecovias realizou uma série de intervenções, sobretudo no trecho Anchieta-Imigrantes, após 120 dias de obras o trecho foi reaberto ao tráfego com o pavimento completamente restaurado com asfalto borracha. Foram recuperados 30 km, com implantação de uma nova sinalização horizontal e na camada de asfalto borracha uma granulometria especial bastante utilizada nas estradas europeias e norte-americanas.

O pavimento que é considerado uma das mais modernas tecnologias na área de pavimentação só foi utilizado no Brasil após anos de pesquisas. A adição de borracha torna o

revestimento mais resistente e mais confortável ao usuário, já que provoca menos ruídos e maior aderência, diminuindo a possibilidade de derrapagens o que favorece na prevenção de acidentes causados em dias de chuva.

Um ano depois da conclusão das obras, os caminhoneiros começam a sentir os resultados práticos do investimento no pavimento. Dorival Sartorelli viaja há 26 anos pela Via Anchieta e percebe a diferença no asfalto toda vez que utiliza a rodovia. “Esse asfalto novo prende mais o pneu na hora da freada, é bem mais seguro”, conta.

As obras marcam uma nova fase da rodovia, que foi construída na década de 40 em concreto e reconstruída nos anos 70. Para recuperar o trecho, a concessionária retirou todas as placas de concreto danificadas e recuperou a estrutura da rodovia, para recapear o trecho com o asfalto borracha. A remoção dessas placas implicou em intervenções profundas nas diversas camadas do pavimento, já que muitas delas ainda eram da década de 40 e não tinham mais função.

Além dos benefícios para o motorista e para a própria rodovia, o uso desse tipo de asfalto atende a questão da sustentabilidade, já que se usam pneus sem utilidades que são descartados em grande escala anualmente no país, que passa assim a ser reaproveitado, por isso o nome de “asfalto ecológico”.

A Ecovias investiu fortemente para recuperar o trecho de serra, que é de grande importância para o Sistema Anchieta-Imigrantes. As rodovias que fazem parte são as principais vias de acesso que ligam a capital paulista ao Porto de Santos e à Baixada Santista. Só a Via Anchieta recebe, por dia, mais de 20 mil caminhões que levam toda a produção do país ao porto.

Com a recuperação da Anchieta, a Ecovias também pretende incentivar os motoristas de veículos de passeio a usarem mais a estrada nos finais de semana, quando o volume de caminhões é sensivelmente menor.

As rodovias que fazem parte do Sistema Anchieta-Imigrantes, recuperadas com asfalto borracha, estão em ótimo estado de conservação. São bem avaliadas, tanto nas pesquisas internas, quanto nas feitas pela Agência Reguladora de Transportes de São Paulo e pela Confederação Nacional dos Transportes.

5. CONCLUSÃO

De acordo com o que foi pesquisado e analisado foi possível identificar que as concessionárias que adotaram a tecnologia do asfalto borracha demonstram plena satisfação quanto a utilização do novo tipo de pavimento. Essas concessionárias se posicionam de forma positiva quanto as vantagens, benefícios, utilização e desempenho do asfalto borracha prevendo uma maior popularização e utilização em projetos futuros.

Foi possível concluir que o asfalto borracha ainda não é aplicado em grandes escalas devido à falta de incentivos devido o investimento inicial ser mais alto que o asfalto convencional, isso faz com que as concessionárias optem por aplicar seus investimentos contratuais no pavimento convencional a fim de um retorno financeiro mais rápido, mesmo sendo claras e concretas as vantagens na utilização do asfalto borracha quanto a durabilidade, desempenho, conforto e vida útil.

Com base nos resultados obtidos a partir das pesquisas nessa área, conclui-se que a viabilidade do asfalto borracha é certo, sendo viável economicamente e ecologicamente correto. Foram realizados alguns estudos nessa área, em um desses materiais que tive como base no meu projeto, pode se observar uma redução de espessura do pavimento com asfalto borracha em relação ao pavimento convencional, essa redução pode chegar a 14%, o que comprova a maior resistência dessa nova técnica. Em outro estudo que analisa custo de execução e manutenção, concluiu que dentro de um período de 7 anos o asfalto convencional pode apresentar um custo de quase 12% a mais que o asfalto borracho, o que mostra que em relação a vida útil o pavimento com adição de polímero traz vantagens econômicas a longo prazo.

Conclui-se que o emprego de ligante asfáltico modificado por borracha de pneus em misturas asfálticas para recapeamentos de pavimentos trincados mostra-se como uma técnica promissora.

Como o Brasil é um país que ainda depende muito de suas rodovias, pois transporta muito de suas cargas e riquezas por terra, a utilização do asfalto borracha ainda é um percentual muito pequeno, se comparado a extensão total de vias existentes. Fica nítido que se houvesse campanhas de incentivo da parte dos governos alertando das vantagens do uso do asfalto borracha, as concessionárias teriam maior segurança e lucros em aderir a nova técnica, logo aumentaria esse percentual de vias pavimentadas com esse pavimento, uma vez que os usuários já aprovaram e o meio ambiente agradece.

6. REFERÊNCIAS

ABCR - Associação Brasileira de Concessionária de Rodovias. Concessões de Rodovias, São Paulo. Disponível em: <<http://www.relatorioweb.com.br/abcr/?q=ptbr/node/53>> acesso em: 20 de agosto de 2015.

ABEDA, Associação Brasileira das Empresas de Asfalto. Disponível em <http://www.abeda.org.br/>

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7208. **Materiais Betuminosos para emprego em Pavimentação**. Rio de Janeiro, 1990.

ANP- Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Qualidade – Asfalto-borracha, Rio de Janeiro. Disponível em: < <http://www.anp.gov.br/?id=486>> acesso em: 20 de agosto de 2015.

_____. **Aplicação de materiais reciclados na pavimentação**. Palestra proferida no Workshop da Escola de Contas do Tribunal de Contas do Município de São Paulo no ano de 2016.

Associação Brasileira de Revendedores de Pneus - ABRAPNEUS, n. 41, p. 4 – 7, Entrevista março/abril 2000.

BALBO, J.T. Pavimentação Asfáltica: materiais, projeto e restauração. São Paulo: Oficina de Textos, 2007. 558p

BONFIM, V. Reciclagem de base em usina KMA 220 com espuma de asfalto na Rodovia Ayrton Senna. **Revista Engenharia**, Edição nº 618 – Ano 71, São Paulo, 2014.
_____. **Fresagem de Pavimentos Asfálticos**. 3ª Edição. São Paulo: Exceção Editorial, 2011.

BLOG, Quero Frete. **A importância da reciclagem de pneus para o meio ambiente**. Disponível em: <http://blog.querofrete.com.br/2015/09/10/a-importancia-da-reciclagem-de-pneus-para-o-meio-ambiente/>

BRASIL, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria Executiva. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. **Manual de projeto geométrico de travessias urbanas**. Rio de Janeiro: IPR. Publ., 740, 2010. 392p.

CNT, **Confederação Nacional de Transporte**. 2007. Disponível em <http://www.cnt.org.br/>

_____, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. **Manual de estudos de tráfego** – Rio de Janeiro, 2006.

DI GIULIO, Gabriela. **Vantagens ambientais e econômicas no uso de borracha em asfalto**. 2007. Disponível em: <http://inovacao.scielo.br/scielo>

D'AGOSTIN, FRANCINI GIASSI. **Dimensionamento de pavimento flexível e análise comparativa entre os custos do projeto de revitalização** e uma proposta de reconstrução da SC-446 – Rodovia Governador Jorge Lacerda. Monografia (Graduação). Universidade Do Extremo Sul Catarinense – UNESC. Criciúma, SC: 2010. Disponível em: <www.bib.unesc.net/biblioteca/sumario/00004D/00004D34.pdf> Acesso em: 20/mar/2016.

GRECA, Asfaltos. **Ecoflex**. Disponível em: <http://www.grecaasfaltos.com.br/central-de-noticias/90-tecnologias-de-revestimentos-com-asfalto-borracha>

GUIMARÃES NETO, Guilherme Loreto. **Estudo Corporativo entre a Pavimentação Flexível e Rígida**. Monografia (graduação). Universidade da Amazônia, Belém, PA, 2011. Disponível em <<http://www.unama.br/graduacao/engenharia-civil/tccs/2011/ESTUDO%20CORPORATIVO%20ENTRE%20A%20PAVIMETACAO%20FLEXIVEL.pdf>> Acesso em: 10/abr./2017

MAZZONETTO, Caroline. **Consórcio Univias**. Ed 11 – Dezembro/2011. Disponível em: <http://infraestruturaurbana.pini.com.br/solucoes-tecnicas/11/asfalto-borracha-a-adicao-de-pode-borracha-extraido-de-245173-1.aspx>

NAKAMURA, Juliana. **Consórcio Univias**. Ed 16 – Dezembro/2011. Disponível em: <http://infraestruturaurbana.pini.com.br/solucoes-tecnicas/16/asfalto-borracha-a-adicao-de-po-de-borracha>

PETROBRAS. **Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros** / Liedi Bariani Bernucci... [et al.]. – Rio de Janeiro, ABEDA, 2006.

Prefeitura da Cidade de São Paulo. Legislação Municipal. Decreto nº 48.075 de 28 de dezembro 2006.

SENÇO, Wlastermiler de. **Manual de Técnicas de Pavimentação**. 1ª Edição. São Paulo: Pini, 1997.

SOUZA, Murillo Lopes. **Pavimentação Rodoviária**. Rio de Janeiro: DNER, 1976.

WICKBOLDT, Juliano Araújo. **Viabilidade da Pavimentação com Asfalto Borracha**. 2005. Disponível em http://www.portaldeperiodicos.unisul.br/index.php/gestao_ambiental/article/download/3323/2822