

**INSTITUTO ENSINAR BRASIL
FACULDADES UNIFICADAS DE TEÓFILO OTONI**

ASFALTO-BORRACHA: ASPECTOS TÉCNICOS E IMPACTOS AMBIENTAIS

TEÓFILO OTONI

2017

**DANIELLA MAIARA BASTOS
HUGO DANTAS NEIVA MOREIRA
JEFFERSON ARAÚJO VIANA
FACULDADES UNIFICADAS DE TEÓFILO OTONI**

ASFALTO-BORRACHA: ASPECTOS TÉCNICOS, E IMPACTOS AMBIENTAIS

**Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia
Civil das Faculdades Unificadas de
Teófilo Otoni, como requisito parcial
para a obtenção do grau de bacharel
em Engenharia Civil**

Área de concentração: Pavimentação

**Orientador Prof. Jouséberon Miguel
da Silva**

TEÓFILO OTONI

2017



FACULDADES UNIFICADAS DE TEÓFILO OTONI

O trabalho de Conclusão de Curso intitulado ASFALTO-BORRACHA: ASPECTOS TÉCNICOS E IMPACTOS AMBIENTAIS, elaborado pelo (s) aluno (s) DANIELLA MAIARA BASTOS, HUGO DANTAS NEIVA MOREIRA, JEFFERSON ARAÚJO VIANA, foi aprovada por todos os membros da banca examinadora e aceita pelo curso de Engenharia Civil das Faculdades Unificadas de Teófilo Otoni como requisito parcial para a obtenção do título de

BACHAREL EM ENGENHARIA CIVIL

Teófilo Otoni, 14 de dezembro de 2017

BANCA EXAMINADORA

Prof. Jouséberson Miguel da Silva

Examinador

Examinador

*Dedico este trabalho primeiramente a Deus,
por ser essencial em minha vida, aos meus pais e irmão,
por estarem sempre ao meu lado.*

Daniella Maiara Bastos

*Dedico este trabalho primeiramente a Deus, por nunca me deixar desistir, aos meus
familiares pelo apoio incondicional, a minha namorada Glenda por sua paciência e
companheirismo e a toda comunidade acadêmica.*

Hugo Dantas Neiva Moreira

*Dedico este trabalho primeiramente a Deus,
minha família que sempre me apoiou e esteve ao meu lado*

Jefferson Araújo Viana

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Deus por nunca nos abandonar em todos os momentos, não permitindo que desistíssemos quando nos sentíamos enfraquecidos.

A nossa família pelos anos de dedicação, pelo incentivo, paciência e seus ensinamentos, e por não medirem esforços para realização desse sonho.

Ao nosso orientador, o professor Jouséberon Miguel da Silva e ao professor Lúcio Onofri, pelo suporte e incentivo que nos deu durante a realização deste trabalho.

À Instituição Doctum pelo ambiente criativo e amigável que nos proporcionou, aos demais docentes por ajudar e contribuir com nosso aprendizado.

*Pois Deus não nos deu um espírito de timidez,
mas de fortaleza, de amor e de sabedoria*

Timóteo 1:7

ABREVIATURAS E SIGLAS

AB - Asfalto Borracha

ABEDA - Associação Brasileira das Empresas Distribuidoras de Asfalto

ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas

AC - Asfalto Convencional

AMB - Asfalto Modificado por Borracha

ANIP - Associação Nacional das indústrias de Pneumáticos

ANP- Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis

BBB - Betume Borracha de Baixa

BBA - Betume Borracha de Alta

BBM - Betume Borracha de Media

BPM - Borracha de Pneus Moídos

CA - Concreto Asfáltico

CAP- Cimento Asfáltico de Petróleo

CBUQ - Concreto Betuminoso Usinado à Quente

CNT - Confederação Nacional do Transporte

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

CONCER - Companhia de Concessão Rodoviária Juiz de Fora-Rio de Janeiro

CPA - Camada Porosa de Atrito

DNER- Departamento Nacional de Estradas de Rodagem

DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes

EAP- Emulsão Asfáltica de Petróleo

IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente

NBR- Norma Brasileira Regulamentadora

NTA - Novas Técnicas de Asfalto

PMF - Pré-misturados a Frio

PMQ - Pré-Misturado Quente

SINICESP- Sindicato da indústria da construção pesada do estado de São Paulo

SMA - Stone Matriz Asphalt

SNV - Sistema Nacional de Viação

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Camadas que compõe um pavimento	33
FIGURA 2 - Camadas do pavimento rígido	34
FIGURA 3 - Camadas do pavimento flexível	35
FIGURA 4 - Camadas do pavimento semi-rígido ou semi-flexível	36
FIGURA 5 - Classificação de revestimentos asfálticos	39
FIGURA 6 - Composições granulométricas dos tipos de mistura a quente	40
FIGURA 7 – Deformação permanente em pavimentos asfálticos na camada do revestimento	44
FIGURA 8 – Deformação permanente dm pavimentos asfálticos com deformações em mais de uma camada (trilha da roda direita)	45
FIGURA 9 - Trinca por fadiga resultantes de tensões repetidas.....	45
FIGURA 10 - Processo de mistura estocável do asfalto borracha	53

LISTA DE GRAFICOS

GRÁFICO 1 - Situação da malha rodoviária brasileira: Rodovias federais, estaduais e municipais	31
GRÁFICO 2 - Condições da superfície da malha rodoviária brasileira	31
GRÁFICO 3 - Avaliação de pavimentos das rodovias brasileiras	32

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Especificações dos Cimentos Asfálticos de Petróleo (CAP)	42
TABELA 2 - Características técnicas para o asfalto borracha	49
TABELA 3 - Comparativo de custo de aplicação entre asfalto borracha e asfalto convencional em uma obra de pavimentação	54
TABELA 4 - Redução de custos utilizando AB.....	61
TABELA 5 - Componentes de um pneu passeio típico (Goodyaer P195/75R14), com massa aproximada de 10 kg	62
TABELA 6: Economia gerada pelo uso de pneus descartados na produção de asfalto.....	63

RESUMO

O Brasil é um país onde a multiplicação de pneus inservíveis invariavelmente são descartados de maneira incorreta, ocasionando um grave problema ambiental. Uma solução para estes problemas é o uso do asfalto-borracha, uma tecnologia que transforma pneus velhos em asfalto novo com qualidade superior comparado ao asfalto convencional. A adição da borracha aumenta a elasticidade do pavimento tornando a mistura mais resistente ao envelhecimento e fazendo com que o asfalto seja flexível no contato de pneu e pavimento, além de dar destinação adequada aos pneus inservíveis. Embora o asfalto-borracha tenha um custo de aplicação maior que o asfalto convencional, o mesmo é ecologicamente correto, reduzindo o impacto causado ao meio ambiente. Apesar de de inicialmente o custo ser mais alto, é nítida a vantagem dessa tecnologia, em aspectos técnicos e sustentáveis.

Palavras-chave: Asfalto-borracha. Sustentáveis. Inservíveis

ABSTRACT

Brazil is a country where the multiplication of waste tires is invariably discarded incorrectly, causing a serious environmental problem. One solution to these problems is the use of asphalt-rubber, a technology that transforms old tires into new asphalt with superior quality compared to conventional asphalt. The addition of the rubber increases the elasticity of the pavement making the mixture more resistant to aging and making the asphalt flexible in the tire and pavement contact, as well as giving adequate destination to the waste tires. Although rubber asphalt has a higher application cost than conventional asphalt, it is environmentally friendly, reducing the impact on the environment. Although the cost is initially higher, the advantage of this technology in technical and sustainable aspects is clear.

.

Keywords: Asphalt rubber. Sustainable. Invariably

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	27
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	29
2.1 Transporte rodoviário	29
2.1.1 História da pavimentação no Brasil	30
2.1.2 Cenário da pavimentação no Brasil.....	30
2.2 Definição de pavimentação	32
2.2.1 Classificação dos pavimentos	33
2.2.2 Pavimentos rígidos	34
2.2.3 Pavimentos Flexíveis	35
2.2.4 Pavimento semi-rígido ou semi-flexível.....	36
2.2.5 Classificação das camadas	36
2.2.6 Base	36
2.2.7 Sub-base	37
2.2.8 Reforço do subleito	37
2.2.9 Subleito	37
2.3 Revestimento.....	37
2.4 Misturas asfálticas	38
2.4.1 Classificação de revestimentos asfálticos	39
2.4.2 Mistura quente.....	40
2.4.3 Mistura à frio.....	41
2.5 Asfalto convencional	41
2.5.1 Especificação dos ligantes	42
2.5.2 Defeitos dos pavimentos asfálticos	43
2.5.3 Deformação permanente.....	44
2.5.4 Trincas por fadiga.....	45
2.6 Asfaltos modificados	45
2.6.1 Asfaltos modificados por polímeros.....	46
2.7 Asfalto borracha.....	47
2.7.1 História do asfalto borracha.....	47
2.7.2 Normas e aspectos técnicos do asfalto borracha.....	48
2.7.3 Classificação dos ligantes	49
2.7.4 Matéria-prima	50

2.7.5 Fabricação / Usinagem 50

2.8 Aspecto econômico	52
2.9 Impactos ambientais	53
3 METODOLOGIA E PROCEDIMENTOS TÉCNICOS DA PESQUISA	57
3.1 Classificação da pesquisa quanto aos fins	57
3.2 Classificação da pesquisa quanto aos meios	57
3.3 Tratamento dos dados	57
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	59
4.1 Desvantagens e vantagens técnicas da utilização do asfalto borracha.....	59
4.2 Análise econômica	60
4.3 Benefícios ambientais	61
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	65
REFERÊNCIAS	67

1 INTRODUÇÃO

Seguindo a expansão da indústria automobilística, a pavimentação de vias desenvolveu-se mundialmente no século XX. Com o decorrer do tempo, misturas asfálticas foram desenvolvidas afim de assegurar uma malha viária com padrão de qualidade e segurança.

A rápida expansão da malha rodoviária, juntamente com o aumento constante do tráfego, elevaram alguns problemas nos pavimentos como patologias prematuras em suas camadas devido ao excesso de carga suportada e também ações de intempéries, e, com uma intensa frota de veículos conseqüentemente serão gerados muitos resíduos e um dos principais e mais degradantes principalmente ao meio ambiente são os pneus descartados.

O pavimento convencional, gera um alto custo devido a composição de suas camadas, fazendo com que seja necessário buscar novas tecnologias no mercado que denotem um melhor custo benefício.

Anualmente a indústria de pneumáticos produz cerca de 40 milhões de pneus e quase metade dessa produção é descartada nesse período de forma inadequada em depósitos de lixo, margem e córrego de rios e matas. Nos dias de hoje, buscar alternativas sustentáveis para a construção civil é um dos deveres primordiais da engenharia.

Na busca por uma forma capaz de reutilizar pneus inservíveis, o americano Charles H. Macdonald, incorporou borracha triturada de pneu ao asfalto, originando asfalto-borracha em 1963. Posteriormente foi difundida em outros países, em destaque, a África do Sul, que já utiliza desde 1980. O desempenho do asfalto-borracha em rodovias de alto tráfego na África do Sul provocou o interesse de engenheiros e técnicos rodoviários brasileiros.

Através da combinação entre pó de borracha de pneus e ligante asfáltico, o asfalto-borracha é uma opção para adaptar o desenvolvimento urbano com a preservação ambiental. É uma tecnologia sustentável, já que contribui para a redução da utilização de matérias-primas não renováveis, mais resistente mais durável e mais barato, em longo prazo, o asfalto-borracha é uma das alternativas para melhorar o desempenho do revestimento asfáltico em rodovias com fluxo intenso como as do Brasil.

Um dos fatores determinantes seria o maior emprego da reciclagem e as

vantagens que ela proporciona ao meio ambiente. A produção do asfalto-borracha começa a partir da captação de pneus que seriam descartados no meio ambiente.

O presente trabalho objetiva analisar as questões pertinentes à aspectos técnicos do uso do asfalto-borracha nas rodovias brasileiras em comparação com asfalto convencional, investigando o impacto ambiental do resíduo da borracha de pneus como insumo de pavimentação dentro da engenharia civil. Através de um embasamento teórico fundamentado em obras de variados e renomados autores que conduzem às pesquisas bibliográficas no referido assunto

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Transporte rodoviário

Segundo a Confederação Nacional de Transporte CNT (2014) o Brasil detém uma ampla rede de sistemas de transportes que, além de interligar cidades e regiões e aproximar pessoas, contribui para levar o desenvolvimento econômico aos seus pontos mais longínquos.

De acordo com Rodrigues (2005), o transporte rodoviário é o de maior expressão no Brasil, implantado desde a década de 50, compreendendo todo o território nacional, unindo de norte a sul. Devido a pavimentação de suas principais rodovias, o modelo de transporte rodoviário se desenvolveu rapidamente tornando-se predominante no país.

Para a CNT (2014), devido ao país necessitar de ter uma solidez em seu desenvolvimento econômico, é essencial que a malha rodoviária seja ampliada e conservada afim de atingir e garantir níveis mais altos em segurança, e economia.

O asfalto convencional de hoje em dia ocasiona patologias em um curto período de tempo após a obra concluída.

Balbo (2007) expõe que a construção de rodovias é uma atividade que já vem sendo exercida desde as antigas civilizações, sendo extremamente importante por razões econômicas, interesses regionais, e de cunho militar.

Sendo assim, a necessidade de pavimentos de qualidade é um fator essencial por diversas razões, e a busca por melhorias é um dever da construção civil

A qualidade do pavimento das rodovias tem impacto direto no desempenho do transporte rodoviário e na economia do Brasil. Uma rodovia com más condições de pavimento aumenta o custo operacional do transporte, reduz o conforto e a segurança dos passageiros e das cargas, além de causar prejuízos ambientais (CNT, 2014).

De acordo com Silva (2014), diversas são as vantagens da escolha do modelo rodoviário para os usuários de transportes de cargas. Flexibilidade e menos burocracia são alguns dos pontos positivos que levam a esta escolha

O modelo rodoviário brasileiro passa por diversos problemas como falta de investimentos em infraestrutura (pavimentação, construção e manutenção das vias), refletindo diretamente nos custos operacionais.

Segundo Ramalho (2009), “a carência de planejamento e de investimentos do setor de transportes de cargas implica em uma incapacidade de acompanhar a demanda nacional”.

Portanto devido à alta demanda do uso das rodovias e a importância que este setor têm para o país, a necessidade de ter um asfalto de qualidade é importante tanto no aspecto de segurança quanto econômico.

2.1.1 História da pavimentação no Brasil

Percorrer a história da pavimentação remete à própria história da humanidade, passando pelo povoamento dos continentes, conquistas territoriais, intercâmbio comercial, cultural e religioso, urbanização e desenvolvimento (MOURA, 2017).

Segundo CNT (2014) durante o século XX apareceram as primeiras estradas no país. Devido a exigência de fluxo de produtos, que aumentava cada dia mais, ocorreu a necessidade de criar mais rotas desde então.

De acordo com a Fochesatto (2015), no Brasil a inauguração da primeira rodovia pavimentada, denominada Washington Luís, foi na década de 20, entre as cidades do Rio de Janeiro e Petrópolis. Com a expansão da indústria automobilística houve a consolidação do transporte rodoviário.

Ao longo da história, pesquisadores se estudaram, pesquisaram e experimentaram novas técnicas, estas que foram necessárias por problemas que ocorreram ao longo dos anos aos pavimentos, enriquecendo os ligantes com agregados, valorizando a massa asfáltica e aperfeiçoando experimentos (MARQUES, 2017).

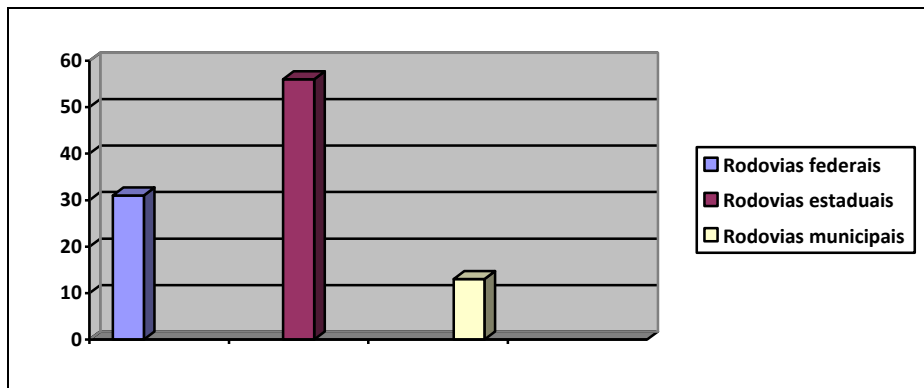
2.1.2 Cenário da pavimentação no Brasil

Em geral, no Brasil, o pavimento das rodovias sob gestão pública apresenta problemas estruturais precocemente. Relatórios do TCU (Tribunal de Contas da União, 2013), apontam que, em alguns casos, os problemas começam a surgir apenas sete meses depois da entrega da obra.

Segundo dados da CNT (2016) a malha rodoviária pavimentada brasileira compreende 211.468 km de extensão (12,3%), numa malha de 1.720,756 km. Destas 64.895 km (31%) são rodovias federais, 119.747 km são rodovias estaduais

(56%) e 26.826 km (13%) rodovias municipais. Pois podem acarretar uma nova forma de produção de massa asfáltica para utilização em pavimentação de estradas e rodovias. O gráfico 1 ilustra essas informações.

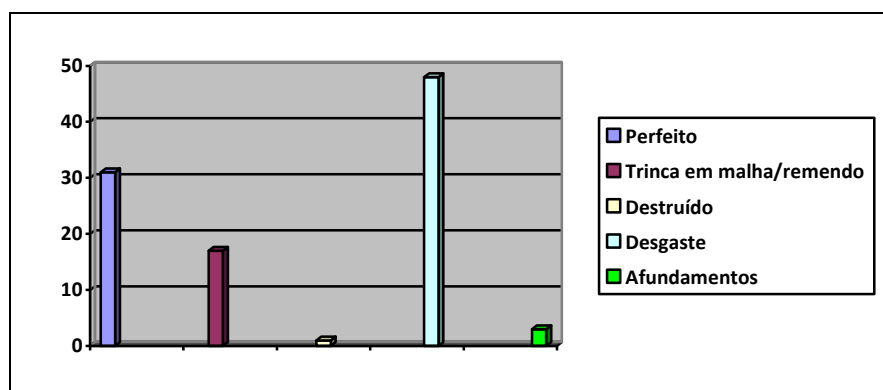
Gráfico 1: Situação da malha rodoviária brasileira: Rodovias federais, estaduais e municipais



Fonte: Adaptado CNT (2016)

Com o intuito de avaliar as condições do pavimento, a CNT apresentou o resultado sobre a situação da superfície. Com apenas 31.650 km (31%) em perfeitas condições, dos defeitos apresentados, 49.934 km (48%), predominam o desgaste, em 17.907(17%) a trinca em malha ou remendo, em 2.847 km (3%), afundamentos, ondulações ou buracos e por último totalmente destruído 921 km (1%) da malha asfáltica.

Gráfico 2: Condições da superfície da malha rodoviária brasileira

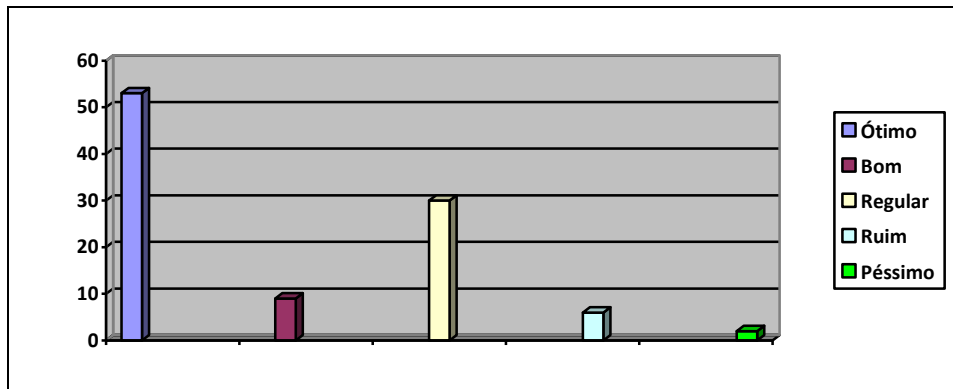


Fonte: Adaptado CNT (2016)

No gráfico 3 de acordo com a (CNT, 2016) foram classificadas as condições do pavimento no Brasil, como em ótimo estado 35.059 km (53%), bom 5.822 km

(9%), regular 19.720 km (30%), ruim 3.954 km (6%) e péssimo 1.346 km (2%).

Gráfico 3: Avaliação de pavimentos das rodovias brasileiras



Fonte: Adaptado CNT (2016)

2.2 Definição de pavimentação

Segundo CNT (2016) é possível encontrar várias definições para o termo pavimento, sendo todas atreladas a sua função estruturante e operacional.

Ainda de acordo com o autor, a literatura define pavimento como uma estrutura composta por camadas sobrepostas, de diferentes materiais, que atendam estrutural e operacionalmente ao tráfego, de forma durável e ao mínimo custo possível, devendo-se considerar diferentes horizontes de tempo para execução de serviços de manutenção preventiva, corretiva e de reabilitação.

Garcia (2010) define pavimento como um sistema composto por múltiplas camadas de diferentes espessuras, projetadas especialmente para suportarem os esforços oriundos do tráfego e das ações climáticas.

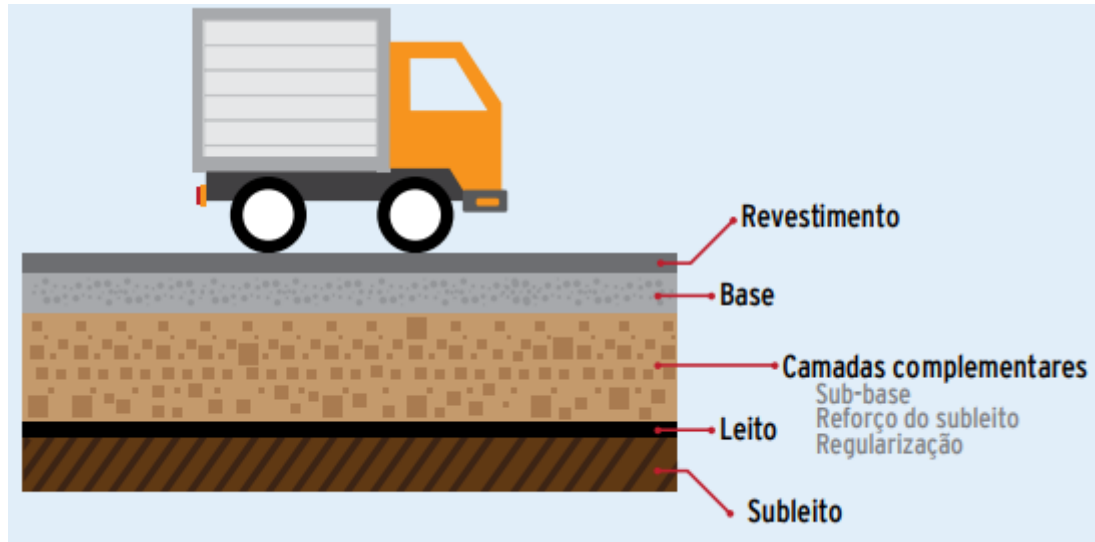
Segundo CNT (2016), o pavimento deve suportar os efeitos das mudanças de clima, permitir deslocamento suave, não causar desgaste excessivo dos pneus e nível alto de ruídos, ter estrutura forte, resistir ao fluxo de veículos, permitir o escoamento da água na sua superfície, possuir sistemas de drenagem eficientes para dar vazão à água da chuva e ter boa resistência a derrapagens.

Bernutti (2008) complementa que essa estrutura fica posicionada a cima da terraplanagem finalizada, e enfatiza que um pavimento serve também para melhorar o conforto, a segurança e as condições de rolamento para o motorista.

Ressalta-se que esses pavimentos devem possuir pelo menos duas camadas: o revestimento e a base, conforme requisitos de projeto quando necessário devem

ser construídas as camadas complementares à base, como: a sub-base, a de reforço do subleito e/ou a camada de regularização (CNT, 2016). A Figura 1 ilustra, de forma esquemática, a disposição das camadas de um pavimento.

Figura 1: Camadas que compõe um pavimento.



Fonte: CNT (2016)

O revestimento é a camada responsável por receber diretamente os esforços provenientes do tráfego de veículos, além de estar suscetível à ação dos agentes climáticos, tais como sol, chuva e variações de temperatura. Outras atribuições desta camada é proporcionar conforto e segurança aos usuários (BERNUCCI, et al. 2008).

2.2.1 Classificação dos pavimentos

Segundo CNT (2016) a estrutura do pavimento tem a função de receber os esforços oriundos do tráfego e transmiti-los para as camadas inferiores de forma aliviada, uma vez que essas são geralmente menos resistentes.

Ainda segundo o autor, as cargas são transmitidas de forma criteriosa a fim de impedir que ocorram no pavimento deformações ou mesmo rupturas incompatíveis com a utilização da rodovia, induzindo a um comportamento mecânico inadequado e a uma degradação prematura.

No Brasil, aproximadamente 99% da malha rodoviária pavimentada é composta por pavimento flexível. O tempo de vida útil desse tipo de pavimento pode

variar entre 10 e 20 anos, dependendo do projeto e da realização de manutenção adequada (CNT, 2016).

O pavimento rodoviário, quanto à rigidez, classifica-se em três tipos: rígidos, flexível, semi-rígido ou semi-flexível (FOCHESATTO, 2015).

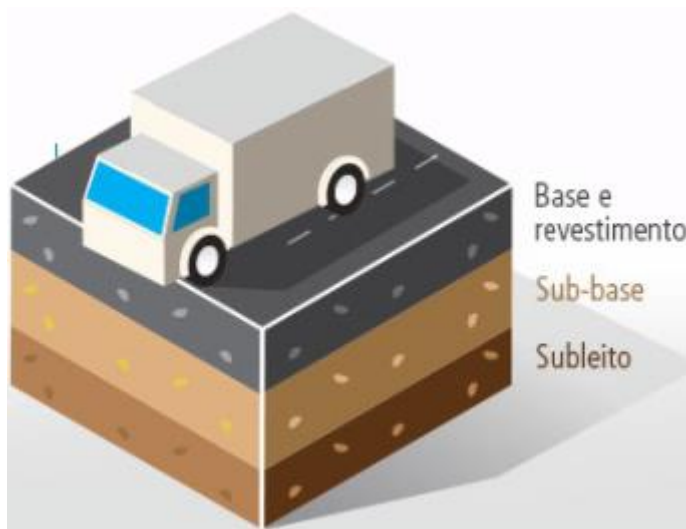
2.2.2 Pavimentos rígidos

Segundo Hilário (2016) pavimentos rígidos são aqueles que possuem uma camada de revestimento com uma rigidez maior do que as camadas inferiores, tem por característica absorver todas as tensões provenientes das deformações de placas. É apoiado em camada granular ou sub-base.

Senço (2007) afirma que os pavimentos rígidos são tipos de pavimentos que possuem pouca deformação, e são basicamente constituídos de concreto de cimento. Já os flexíveis são pavimentos que suportam certa deformação até o limite que levam o seu rompimento.

Para Araújo (2015) a pavimentação rígida consiste na incorporação de cimento como aglomerante hidráulico para interligação dos agregados envolvidos no concreto. A placa de cimento destaca-se como o principal componente estrutural.

Figura 2: Camadas do pavimento rígido



Fonte: CNT (2016)

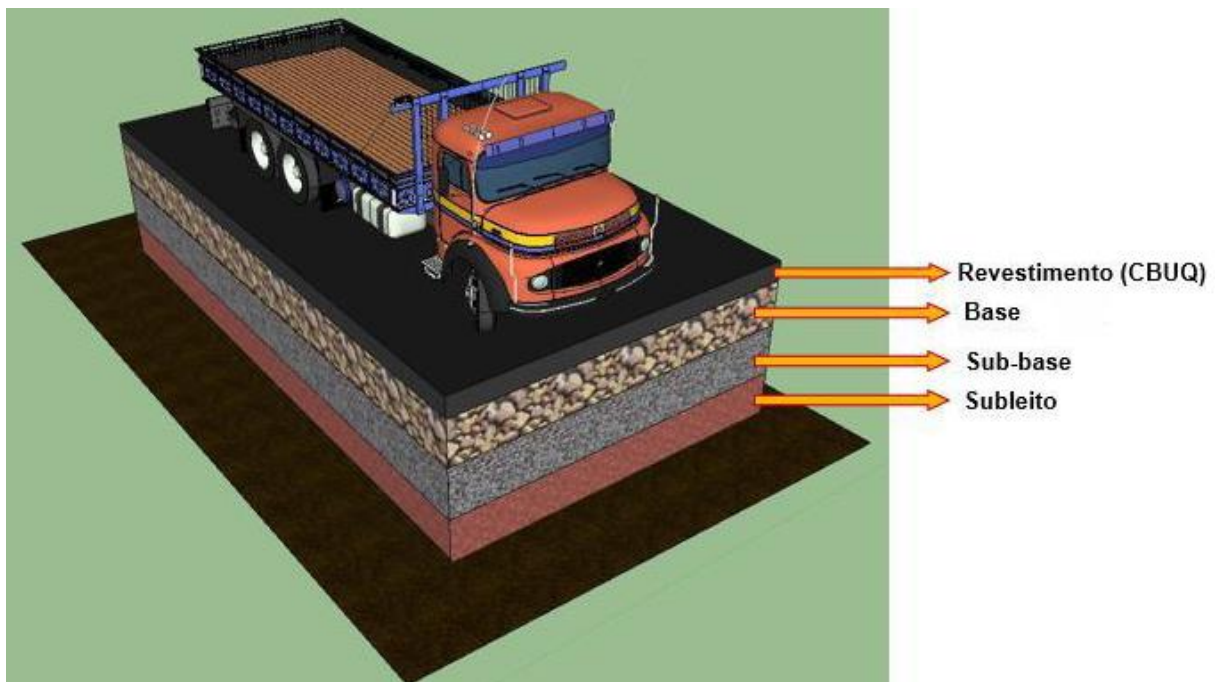
2.2.3 Pavimentos Flexíveis

De acordo com Hilário (2016) pavimentos flexíveis são compostos por camada superficial asfáltica, no caso o revestimento, apoiada sobre as demais camadas do pavimento: base, sub-base, reforço do subleito quando necessário. Essas camadas são constituídas por matérias granulares, solos e misturas.

Segundo Bernucci et al. (2008), as propriedades físicas e químicas determinam o desempenho dos pavimentos flexíveis. Salaria ainda que seu revestimento asfáltico é composto pela camada de rolamento ou por camadas de ligação ou intermediárias.

Para Senço (2007) uma seção transversal convencional, contendo todas as camadas possíveis, consta de uma fundação, o subleito, e de camadas com espessuras e materiais determinados por um dos inúmeros métodos de dimensionamento. Como ilustrado na figura 3, as camadas que compõe um pavimento flexível são base, sub-base, reforço de subleito e subleito além do revestimento.

Figura 3: Camadas do pavimento flexível



Fonte: Silva (2016)

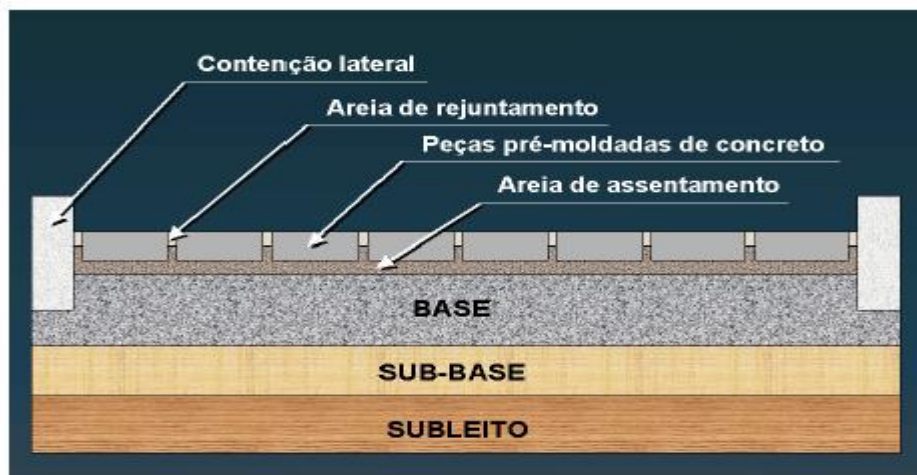
2.2.4 Pavimento semi-rígido ou semi-flexível

Segundo Maia (2012) o pavimento semi-rígido pode ser considerado uma situação intermediária entre os pavimentos rígidos e flexíveis. É o caso dos pavimentos constituídos, nas camadas de base e ou sub-base, por misturas de solo-cimento, solo-cal, solo-betume entre outras, que venham a apresentar uma razoável resistência à tração.

Para Balbo (2007), o pavimento semi-rígido é composto por um revestimento asfáltico e por pelo menos uma camada composta por um material estabilizado com ligante hidráulico, podendo ser conhecida também como pavimento do tipo direto quando a camada de revestimento asfáltico é executada sobre camada de base cimentada e do tipo indireto ou invertido quando a camada de revestimento é executada sobre camada de base granular e sub-base cimentada.

A figura 4 mostra a disposição das camadas de um pavimento semi-rígido ou semi-flexível.

Figura 4: Camadas do pavimento semi-rígido ou semi-flexível



Fonte: Nabeshima; Orsolin; Santos (2011)

2.2.5 Classificação das camadas

2.2.6 Base

Segundo Senço (2007), o pavimento pode ser considerado composto de base e revestimento, sendo que a base poderá ou não ser complementada pela sub-base

e pelo reforço do subleito.

De acordo com Hilário (2016) base é a camada que recebe os esforços originados pelo tráfego e tem função de resistir e distribuir estes ao subleito. É a camada sobre a qual o revestimento será construído.

2.2.7 Sub-base

Segundo Hilário (2016) sub-base é a camada abaixo da base sendo complementar. Normalmente usada quando a base não tem capacidade de suporte adequada para transmitir os esforços para o subleito sendo uma alternativa econômica e técnica.

2.2.8 Reforço do subleito

Reforço de subleito é uma camada que possui uma espessura constante, possui características que complementam a sub-base, pois recebe esforços verticais. No entanto seu material possui uma resistência inferior ao da sub-base, mas superior ao do subleito. Em outras palavras conforme afirma Senço (2007), “o reforço do subleito poderia ser considerado indistintamente camada suplementar do subleito e complementar da sub-base”.

Segundo Hilário (2016) reforço do subleito é utilizado para nivelar o subleito por questões técnicas e econômicas a fim de melhorar as propriedades do subleito e regularizar a espessura base.

2.2.9 Subleito

De acordo com Senço (2007), subleito “é o terreno de fundação do pavimento”. O subleito é a primeira camada do pavimento, após a realização de corte e aterro. Também é considerado subleito o terreno natural que possui cota natural próximo à cota exigida no projeto.

2.3 Revestimento

Segundo Hilário (2016), também conhecido pelo nome de “capa” o

revestimento é a camada que se destina a suportar a carga dos veículos e as ações climáticas, deve ser a camada mais impermeável possível e resistente aos esforços de contato pneu-pavimento, além de fornecer segurança e conforto aos usuários das rodovias.

Senço (2007) explica que quando o pavimento possui um subleito mais resistente exige-se um revestimento menos espesso, podendo algumas vezes dispensar a construção de reforço de subleito ou até mesmo sub-base.

Segundo Bernucci et al. (2008):

a maioria dos pavimentos brasileiros usa-se como revestimento uma mistura de agregados minerais, de vários tamanhos, podendo também variar quanto à fonte, com ligantes asfálticos que, de forma adequadamente proporcionada e processada, garanta ao serviço executado os requisitos de impermeabilidade, flexibilidade, estabilidade, durabilidade, resistência à derrapagem, resistência à fadiga e ao trincamento térmico, de acordo com o clima e o tráfego previstos para o local

De acordo com Araújo (2015) “a camada de revestimento tem sua espessura dimensionada conforme o tipo da rodovia, levando em consideração principalmente o tipo de tráfego.”

Os tipos de revestimentos e suas formas de produção serão melhores abordados no Item 2.3 do presente trabalho.

2.4 Misturas asfálticas

As misturas asfálticas são misturas provenientes da junção de agregados e asfalto dando origem ao revestimento desejado.

Bernucci et al. (2008) descreve que as misturas asfálticas podem ser produzidas em usinas específicas, fixas ou móveis, podendo ser fabricadas no próprio local, geralmente em tratamentos superficiais.

De acordo com CNT (2016) os termos betume e asfalto, são comumente empregados como sinônimos. No Brasil, costuma-se utilizar o termo asfalto para designar o ligante obtido do petróleo. Por outro lado, na Europa, por exemplo, usa-se esse termo para designar a mistura de agregados com o ligante, o que no Brasil é denominada por mistura asfáltica.

Para Bernucci et al. (2008), o tipo de revestimento mais usado no Brasil é o concreto asfáltico (CAP), também conhecido por concreto betuminoso usinado a

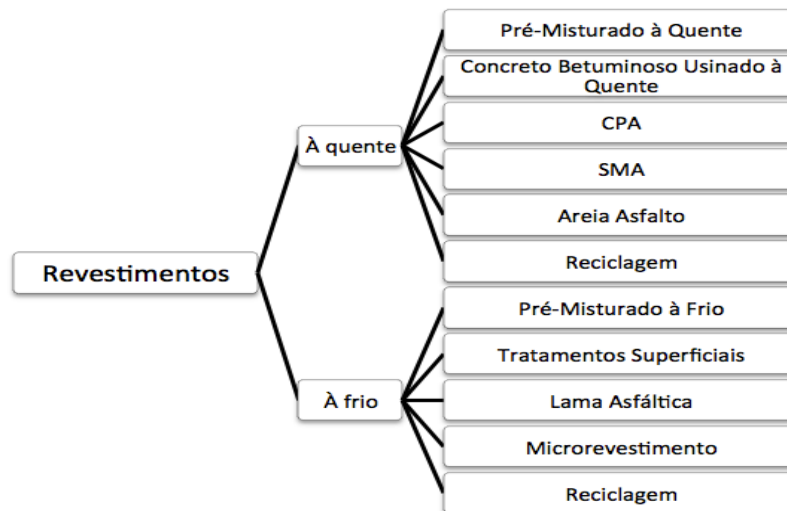
quente (CBUQ), que consiste de uma mistura de agregados com cimento asfáltico, aquecidos a uma temperatura previamente escolhida em função da viscosidade do material. Utiliza-se tanto ligante asfáltico tradicional como o modificado por polímeros ou com asfalto borracha.

2.4.1 Classificação de revestimentos asfálticos

Os revestimentos podem ser classificados em função do tipo de ligante, que se utiliza o Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP), e também os de mistura a frio, com utilização da Emulsão Asfáltica de Petróleo (EAP) (BERNUCCI et al., 2008).

Silva, Siqueira, Severino (2016) cita que os revestimentos asfáltico são classificados de acordo sua composição, finalidade e características, conforme a figura 5 a seguir:

Figura 5: Classificação de revestimentos asfálticos



Fonte: Silva, Siqueira, Severino (2016)

A diferença dos revestimentos a frio e a quente, está no ligante usado, enquanto o pré-misturado à quente se usa o cimento asfáltico de petróleo (CAP), a pré-mistura à frio utiliza o emulsão asfáltica de Petróleo (EAP).

2.4.2 Mistura quente

Segundo NTA asfaltos (2016) o revestimento pré-misturado a quente, PMQ, é uma mistura executada em usina apropriada, composta de agregado graduado, cimento asfáltico e, se necessário, melhorador de adesividade, espalhada e compactada a quente, com volume de vazios maior do que 12%. O PMQ pode ser empregado como camada de regularização, de ligação, binder, ou base.

As misturas asfálticas a quente são divididas de acordo com a graduação dos agregados e fíler, Bernucci et al. (2008) classifica as misturas a quente como sendo:

- **graduação densa:** curva granulométrica contínua e bem graduada, composto de poucos vazios, os agregados menores preenchem o vazio dos maiores. Exemplo: Concreto Betuminoso usinado a Quente (CBUQ);
- **graduação aberta:** curva granulométrica uniforme com agregados quase do mesmo tamanho, proporcionando muitos vazios. Este tipo de mistura é característica de revestimentos drenantes devido a sua porosidade que permite a percolação de água no meio da mistura asfáltica. Exemplo: Camada Porosa de Atrito (CPA).
- **graduação descontínua:** curva granulométrica com grãos de maiores dimensões em quantidade maior que os de dimensões intermediárias, preenchidos com grãos finos, trazendo um maior contato entre os grãos graúdos e tornando o revestimento mais resistente. Exemplo: matriz pétreo asfáltica (stone matriz asphalt - SMA); mistura sem agregados de certa graduação (gap-graded).

A figura 6 ilustra as composições granulométricas dos diferentes tipos de graduação.

Figura 6: Composições granulométricas dos tipos de mistura a quente



Fonte: Bernucci et al. (2008)

2.4.3 Mistura à frio

De acordo com ABEDA (2010) os revestimentos pré-misturados a frio (PMF) consistem em misturas usinadas de agregados graúdos, miúdos e de enchimento, misturados com emulsão asfáltica de petróleo à temperatura ambiente.

Ainda segundo o autor, os PMF possuem algumas vantagens como a utilização de equipamentos simples para realização da mistura, além de resultar em uma mistura asfáltica com características de estocagem e flexibilidade elevadas

Conforme a faixa granulométrica e o percentual de vazios da mistura asfáltica após compactação, segundo Bernucci et al. (2008) os pré-misturados à frio são classificados em três tipos: aberta, semi-densa e contínua (densa):

- **granulometria aberta:** tipo drenante, empregado em camada intermediária, agregando fator estrutural ao pavimento e com efeito amortecedor da reflexão de trincas de pavimentos antigos (com estrutura preservada) em serviços de recapeamento.
- **granulometria semi-densa:** empregado em camada intermediária, para reforço estrutural do pavimento (em serviços de recapeamento) ou constituir camada final de rolamento em vias de tráfego leve e médio, sendo recomendada a sua proteção com impermeabilização de sua superfície com operação capa-selante.
- **granulometria contínua (densa):** composta de agregados britados graúdo e miúdo, a areia e material de enchimento (filler) se necessário e emulsão asfáltica de ruptura lenta para promover o envolvimento dos elementos pétreos pela película de ligante asfáltico, para constituir camadas do pavimento asfáltico (camada intermediária ou de rolamento) em rodovias, vias urbanas e aeródromos.

2.5 Asfalto convencional

Segundo Fontana (2009), o asfalto é um dos produtos mais antigos e versáteis da natureza, com aproveitamento dos mais diversos, e remete a um passado distante, sendo, ao longo dos tempos, utilizado sob variadas formas. É um material com diversas aplicações, desde a agricultura até a indústria, sendo utilizado principalmente em pavimentação.

O asfalto utilizado em pavimentação é um ligante betuminoso que provém da destilação do petróleo e que tem a propriedade de ser um adesivo termoviscoplastico, 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 (BERNUCCI et al. 2008).

Ainda de acordo com os autores no Brasil utiliza-se a denominação cimento

asfáltico de petróleo (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.

Atualmente são cinco tipos de CAP convencionais utilizados no Brasil, segundo Senço (2007), estão divididos de acordo com a sua capacidade de penetração, sendo eles: CAP 30-45, CAP 50-70, CAP 85-100, CAP 100-120 e CAP 150-200, que serão especificados na tabela 1 a seguir.

A norma brasileira que regulamenta o CAP convencional é a norma DNIT 095/2006-EM, na TAB. 1 contém as características dos tipos CAP utilizados no Brasil:

Tabela 1: Especificações dos Cimentos Asfálticos de Petróleo (CAP)

Características	Unidades	Limites				Métodos		
		CAP 30-45	CAP 50-70	CAP 85-100	CAP 150-200	ABNT	ASTM	DNER
Penetração (100g, 5s, 25°C)	0,1 mm	30-45	50-70	85-100	150-200	NBR 6576	D 5	ME 003/99
Ponto de amolecimento	°C	52	46	43	37	NBR 6560	D 36	
Viscosidade Saybolt-Furol								
a 135°C	s	192	141	110	80	NBR 14950	E102	ME 004/94
a 150°C	s	90	50	43	36			
a 177°C	s	40-150	30-150	15-60	15-60			
Viscosidade Brookfield								
a 135°C, SP 21, 20rpm, mín.	cP	374	274	214	155	NBR 15184	D 4402	
a 150°C, SP 21, mín.	cP	203	112	97	81			
a 135°C, SP 21, mín.	cP	76-285	57-285	28-114	28-114			
Índice de susceptibilidades térmica		1,5 a 0,7	1,5 a 0,7	1,5 a 0,7	1,5 a 0,7			
Ponto de fulgor mínimo.	°C	235	235	235	235	NBR 11341	D 92	ME 149/94
Solubilidade em tricloetireno, mín.	% massa	99,5	99,5	99,5	99,5	NBR 14855	D 2042	ME 153/94
Ductilidade a 25°C, mínimo.	cm	60	60	100	100	NBR 6293	D 113	ME 163/98
Efeito do calor e do ar (RTFOT) a 163° C, 85 mín.								
Varição em massa, máx.	% massa	0,5	0,5	0,5	0,5			
Ductilidade a 25°C	cm	10	20	50	50	NBR 6293	D 113	ME 163/98
Aumento do ponto de amolecimento.	°C	8	8	8	8	NBR 6560	D 36	
Penetração retida.	%	60	55	55	50	NBR 6576	D 5	ME 003/99

Fonte: Norma DNIT 095/2006-EM (2006)

2.5.1 Especificação dos ligantes

De acordo com Bernucci et al. (2008) há várias razões para o uso intensivo do asfalto em pavimentação, sendo as principais: proporciona forte união dos agregados, agindo como um ligante que permite flexibilidade controlável; é

impermeabilizante, é durável e resistente à ação da maioria dos ácidos, dos álcalis e dos sais, podendo ser utilizado aquecido ou emulsionado, em amplas combinações de esqueleto mineral, com ou sem aditivos.

No Brasil, para designar o asfalto empregado no setor rodoviário, utiliza-se a denominação CAP. São caracterizados segundo as normas da associação brasileira de normas técnicas (ABNT) e norma brasileira regulamentadora (NBR) e especificados pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP).

A Especificação ANP – Resolução número 19, de 11 de julho de 2005 e Regulamento Técnico número 3/2005 – classifica e caracteriza os CAPs empregados no Brasil.

De acordo com esta resolução, os CAPs brasileiros são classificados pela resistência à penetração. Nessa classificação há atualmente quatro tipos de CAP, classificados por penetração: CAP 30/45, CAP 50/70, CAP 85/100 e CAP 150/200, constituindo-se em produtos básicos para a produção de outros materiais asfálticos, como, por exemplo, os asfaltos diluídos de petróleo, as emulsões, os asfaltos modificados por polímeros e os asfaltos modificados por borracha moída de pneus inservíveis (asfalto-borracha), entre outros (MOURA, 2017).

2.5.2 Defeitos dos pavimentos asfálticos

Segundo Balbo (2007) o pavimento flexível é aquele que sempre comporta um revestimento betuminoso, cujos materiais utilizados são o asfalto que forma a camada de revestimento, um material granular que compõe a base e outro material granular ou o próprio solo que forma a sub-base.

Ainda segundo o autor em relação ao pavimento rígido, o flexível apresenta uma maior e mais expressiva deformação elástica, que é chamada no meio rodoviário por deflexão. É o pavimento no qual a absorção de esforços ocorre entre as camadas de forma dividida, em que as tensões verticais localizam-se nas camadas inferiores concentradas próximo da aplicação da carga (SILVA, 2016).

Quando os defeitos do pavimento flexível se manifestam, estes podem ser classificados como defeitos de superfícies, degradações superficiais ou deformações. (BERNUCCI et al. 2008).

Segundo Bertollo, Fernandes e Schalch (2002), a deformação permanente e as trincas por fadiga são os principais defeitos dos pavimentos asfálticos flexíveis. Nos tópicos abaixo, estes defeitos aparecem mais detalhados.

2.5.3 Deformação permanente

Segundo Guimarães (2009), a deformação permanente, conhecida também por afundamento de trilha de roda, é um defeito estrutural dos mais comuns nos pavimentos asfálticos do Brasil.

As trilhas de rodas podem ocorrer pelo mau dimensionamento das camadas que compõem o pavimento, resultando em carregamentos incompatíveis com a capacidade do subleito.

Bastos (2016) define deformação permanente como o acúmulo de pequenas quantidades de deformação não recuperável, recorrentes da ação das cargas dos veículos. Destaca ainda que este defeito faz com que o pavimento sofra uma perda de capacidade de drenagem, ocorrendo defeitos ocasionados pela água. Além disso, o pavimento fica passível a fissuração por fadiga, resultando no afinamento da estrutura sob a trilha da roda.

Segundo Greca (2011) quando da passagem de um caminhão sobre uma rodovia, as camadas do pavimento ficam submetidas a um estado variável de tensões que se caracteriza por ser dinâmico e repetitivo ao longo da vida útil da rodovia.

Na figura 7, o defeito foi caracterizado apenas na camada de revestimento, mas pode ser atribuído também na combinação de defeitos em diversas camadas, como na figura 8.

Figura 7: Deformação permanente em pavimentos asfálticos na camada do revestimento



Fonte: Bastos (2016)

Figura 8: Deformação permanente em pavimentos asfálticos com deformação em mais de uma camada (trilha da roda direita)



Fonte: Bastos (2016)

2.5.4 Trincas por fadiga

De acordo com a Greca (2011), o fenômeno de fadiga é descrito como um processo de deterioração estrutural que um material sofre quando submetido a um estado de tensões e de extensões repetidas, resultando no aparecimento de fissuras no material (Figura 9), que evoluem para trincas ou ruptura completa, após um número suficiente de repetições de carregamento. Ou seja, é a deterioração do material quando solicitado repetidamente por um carregamento.

Figura 9: Trinca por fadiga resultantes de tensões repetidas



Fonte: Greca (2011)

2.6 Asfaltos modificados

Segundo Fontana (2009), os asfaltos convencionais tem bom comportamento na maioria das aplicações rodoviárias, satisfazendo os requisitos para o desempenho adequado das misturas asfálticas sob o tráfego e sob as condições

climáticas.

Considerando-se que ano após ano aumentam os pesos por eixo dos veículos comerciais e devido as grandes variações de temperatura durante o ano, tem sido cada vez mais necessário o uso de asfaltos modificados.

De modo geral, muitos pavimentos sofrem desgastes em um curto período de tempo, ocasionando patologias que prejudicam o conforto e segurança de quem trafega por ela.

Segundo Araújo (2015) uma das soluções para corrigir os problemas relacionados aos revestimentos asfálticos é adicionar elementos ao asfalto para que melhore as características técnicas e conseqüentemente aumente a vida útil do revestimento.

Hoje já são usados e testados diversos agentes que melhoram a resistência e a aderência do revestimento asfáltico, onde se destacam os agentes rejuvenescedores, borracha moída de pneu e polímeros.

2.6.1 Asfaltos modificados por polímeros

Segundo Bernucci et al. (2008), misturas asfálticas modificadas por polímeros foram introduzidas na Alemanha na década de 70. E também nesta época foram realizados na Itália testes com revestimentos asfálticos com polietileno adicionado na própria usina misturadora.

Ainda de acordo com o autor, os asfaltos modificados por polímeros podem reduzir a frequência das manutenções e aumentar a vida de serviço de pavimentos locais de difícil acesso ou de custo muito elevado de interrupção do tráfego para reparos.

Os polímeros possuem propriedades químicas e elastômeros, que são um tipo de polímero com propriedades elásticas.

De acordo com Fontana (2009) a utilização de asfaltos modificados por polímeros propiciam uma melhoria da resistência ao surgimento de trilhas de roda e ao trincamento por fadiga, resistência maior ao envelhecimento e ao intemperismo, melhores características de elasticidade, elevação do ponto de amolecimento, dentre outros benefícios.

De acordo com Araújo (2015) no Brasil, os estudos iniciais sobre a adição do polímero em ligantes asfálticos se deu a partir de 1974, sua primeira experiência de utilização foi em um trecho de 275m na BR-116, Rio – São Paulo.

Com o tempo, foram estudados novos tipos de polímeros, que hoje são muito

utilizadas nas rodovias brasileiras, inclusive as refinarias de petróleo já fornecem alguns tipos de asfalto modificado por polímeros.

2.7 Asfalto borracha

2.7.1 História do asfalto borracha

Na década de 40, o asfalto borracha surgiu no mercado como uma mistura asfáltica composta por ligante asfáltico e borracha moída desvulcanizada reciclada chamada de RamflexTM (Wickbolt, 2005).

Na busca por uma forma conveniente para a reciclagem de pneus inservíveis, o americano Charles H. Macdonald adicionou borracha triturada ao asfalto, originando o asfalto-borracha, com características de durabilidade e resistência maiores que o asfalto convencional (GRECA ASFALTOS, 2011).

No Brasil, em 1999 começaram as pesquisas e estudos referentes ao asfalto modificado por borracha (AMB). Os estudos foram voltados no sentido de melhoria das qualidades do asfalto convencional a partir da inclusão da borracha de pneus. Após diversas pesquisas no ano de 2001, que a primeira utilização (AMB) no Brasil veio acontecer no estado do Rio Grande do Sul – RS no trecho entre Camaquã e Guaíba. (GRECA ASFALTOS, 2011).

De acordo com Di Giulio (2007) no Brasil, no ano de 1999 foi aprovado o uso da borracha na pavimentação asfáltica, pela Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente CONAMA (Resoluções nos 23, 235, 258 e 416) e a Lei Federal nº 12.305 (BRASIL, 2010a e 2010b), que definem a instituição da responsabilidade, ao produtor e importador, proibindo a destinação inadequada de pneus, e obrigando os fabricantes e importadores a coletarem e darem destino final de forma ambientalmente correta aos produtos que colocam no mercado.

Desde o ano de 2000 a Associação Nacional das Indústrias de Pneumáticos (ANIP), ficou com a responsabilidade de coletar pneus inservíveis (sem condições de uso) e criou os ECOPONTOS, que são postos de coletas espalhados em diversas cidades brasileiras.

Segundo Di Giulio (2007), a Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos (ANIP) composta por grandes empresas fabricantes de pneus novos instaladas no país, além de realizar coleta de pneus inservíveis e destina-los a

reciclagem, também possui interesse a estudos e projetos sobre o uso da borracha em pavimentos asfálticos.

2.7.2 Normas e aspectos técnicos do asfalto borracha

Apesar do uso do Asfalto Borracha ter crescido nos últimos anos no Brasil, as normas que a regulariza não teve grandes avanços. Durante seus primeiros anos se utilizou a norma ASTM 6114-97 como referência para determinação das características do Asfalto Borracha. (Araújo, 2015)

A norma ASTM 6114-97 define as características básicas do ligante modificado.

Em 2009 foram criadas as primeiras normas brasileiras relacionadas ao Asfalto Borracha, sendo elas com base na norma ASTM 6114-97:

- Norma DNIT 111/2009-EM Pavimentação Flexível – Cimento asfáltico modificado por borracha de pneus inservíveis pelo processo via úmida, do tipo “Terminal Blending” regulamenta o material utilizado na mistura.
- Norma DNIT 112/2009-ES Pavimentos flexíveis – Concreto asfáltico com Asfalto Borracha, via úmida, do tipo “Terminal Blending” regulamenta o processo de execução e controle de qualidade do concreto asfáltico.

A tabela 2 indica as especificações técnicas do asfalto borracha como, índices de penetração, viscosidade, variações físicas e químicas, de acordo com a norma DNIT 111/2009-EM.

Tabela 2: Características técnicas para o asfalto borracha - Classificação por penetração

Características	Unid.	Asfalto Borracha		Metodos de ensaio
		Tipo AB 8	Tipo AB 22	
Penetração, 100g, 5s, 25° C	0,1 mm	30-70	30-70	DNER ME 003/99
Ponto de amolecimento, min, °c	°C	55	57	DNER ME-247/94
Viscosidade Brookfield, 175°, 20rpm, Spindle 3	cP	800-2000	2200-4000	NBR 15529
Ponto de Fulgor, min.	°C	235	235	DNER ME148/94
Recuperação elástica, Ductilômetro, 25°, 10 cm, min	%	50	55	NBR 15086:2006
Estabilidade à estocagem, máx	°C	9	9	DNER ME-384/99
Efeito do calor e do ar (RTFOT) a 163°:				
Varição em massa, máx.	%	1	1	NBR 15235:2006
Varição do ponto de amolecimento, máx.	°C	10	10	DNER ME-247/94
Porcentagem de penetração original, mín.	%	55	55	DNER ME 003/99
Porcentagem de recuperação elástica original. 25°C 10 cm, mín.	%	100	100	NBR 15086:2006

Fonte: Norma DNIT 111/2009-EM

Wickbolt (2005) expõe que propriedades físico-químicas presentes na borracha que compõe os pneus, geram melhorias que agem diretamente na durabilidade do pavimento. Essas propriedades passam pela introdução de agentes antioxidantes e inibidores da ação de raios ultra violetas, que diminui o envelhecimento do CAP, além de propiciar um aumento da resistência à ações químicas, diminui a sensibilidade térmica e aumento da resistência a fadiga, que podem gerar as trincas e deformações permanentes

2.7.3 Classificação dos ligantes

De acordo com Junior (2011), introduzir borracha moída de pneus a mistura asfáltica é uma boa opção para de incorporar os benefícios característicos dos polímeros e dos agente antioxidantes da borracha de pneu ao ligante asfáltico.

As misturas asfálticas à quente possuem dois métodos de introdução da borracha triturada ao ligante asfáltico (WICKBOLDT, 2005).

- Via seca: a mistura é feita simultaneamente entre a borracha triturada e o ligante asfáltico.
- Via úmida: a borracha moída dos pneus é adicionada diretamente ao ligante asfáltico, sendo que nesta há uma transferência de características de elasticidade e melhor resistência a oxidação da luz solar para o ligante convencional.

O processo úmido é recomendado em aplicações que necessitam do ligante asfáltico uma performance maior, com características de elasticidade e resistência ao envelhecimento mais altas, por exemplo em revestimento drenantes, camadas de absorção de tensões e camadas anti-reflexão de trincas (Silva, 2016).

De acordo com Specht (2004) a origem do asfalto borracha se dá pelo processo úmido.

Segundo Wickboldt (2005), no Brasil o ligante asfáltico precisa ser compatível com a borracha do pneu. Não sendo compatível com a borracha moída de pneu, o mesmo deve ser realizado por adição de insumos especiais, e posteriormente incorporar a borracha triturada de pneu.

2.7.4 Matéria-prima

Segundo Zatarin et al. (2016) “a utilização como matéria prima de materiais que de outra forma, seriam considerados apenas rejeitos, representa o principal incentivo às tentativas de incorporação dos resíduos de borracha provenientes de pneus”.

O asfalto-borracha é produzido com o preparo da mistura asfáltica utilizando resíduos sólidos, originários de pneus inservíveis, aprimorando características como permeabilidade, resistência ao envelhecimento e aderência pneu/revestimento.

Os pneus são compostos por diferentes materiais, dentre os quais se podem citar: uma estrutura em aço, náilon, fibra de aramid, rayon, fibra de vidro e/ou poliéster, borrachas natural e sintética, diferentes polímeros, reforçadores químicos, antidegradantes, óleos entre outros (GOMES FILHO, 2007).

Segundo Catapreta et al. (2016) para a obtenção do agregado, os pneus inservíveis passam por um processo de mecânico de trituração em temperatura ambiente e a borracha a ser utilizada é separada dos demais componentes, o

restante dos materiais é utilizado para outros fins, como combustível para fornos industriais.

Neves Filho (2004) cita que a adição de borrachas de pneus aos ligantes asfáltico é uma opção atraente para melhorar as propriedades dos materiais betuminosos, pois o mesmo vem trazendo resultados técnicos superiores as misturas asfáltica convencionais, além de proporcionar um destino correto do pneus inservíveis.

2.7.5 Fabricação / Usinagem

A produção do asfalto borracha consiste na mistura asfáltica que utiliza pó de borracha de pneu inservível ao material de pavimentação e compactado a quente, também denominado como asfalto ecológico, por receber até 20% do pneu triturado, o que contribui para o reaproveitamento de pneus inservíveis. Na construção de um pavimento, dependendo da tecnologia, utilizam quantidades de 200 ate 1000 pneus (ORSI, SIMON, 2008).

De acordo com Catapreta et al. (2016) a borracha após ser triturada, passa por um último processo, que transforma a borracha moída em micro partículas com diâmetros que variam entre 1,5mm a 3mm. Posteriormente a este processo, estão adequados para serem transformados em ligantes.

Em sua fabricação, as propriedades reológicas do ligante base são transformados, incluindo um ou mais agentes modificadores. Os materiais inseridos na solução podem incluir: resinas, borracha, elastômeros, fibras orgânicas, plastômeros e o enxofre (BERNUCCI et al., 2008).

Segundo Luciano, Pauli, Cardinal (2017) o betume-borracha consiste na inclusão de grânulos de borracha reciclada no ligante. Há existência de três tipos de betumes modificados com borracha:

- Betume borracha de baixa percentagem de granulado de borracha (BBB) – Produto fabricado com percentual de borracha igual ou inferior 8% (tolerância $\pm 2\%$) referente ao total da massa do ligante;
- Betume borracha de média percentagem de granulado de borracha (BBM) – Produto fabricado com percentual de borracha entre 10% a 14% (tolerância $\pm 2\%$) referente ao total da massa do ligante;
- Betume borracha de alta percentagem de granulado de borracha (BBA) – Produto fabricado com percentual de borracha entre 18% (tolerância - 2%) referente ao total da massa do ligante;

Segundo (AMBROZEWICZ, 2012) ao misturar a borracha com o betume ocorre a alteração das características, formando um novo material

Para assegurar o desempenho satisfatório do pavimento é essencial que haja compatibilidade entre os dois produtos, para isso observa-se o tipo e a quantidade de anéis aromáticos compostos no betume (AMBROZEWICZ, 2012).

Segundo Luciano; Pauli; Cardinal (2017) a inserção também pode acontecer pelo processo criogênico, onde os fragmentos de borracha são movidos a um túnel criogênico onde as temperaturas são extremamente baixas. A temperatura de entrada do nitrogênio líquido é de aproximadamente -198°C e a temperatura de saída da borracha é cerca de -87°C

Thives et al. (2013) expõe que fatores como percentagem de borracha, a granulometria, o tempo e a temperatura de digestão influenciam diretamente as propriedades físicas e geológicas do asfalto modificado, tais como a viscosidade, recuperação elástica e, em consequência, o desempenho da mistura asfáltica em serviço.

A borracha inserida no ligante asfáltico possui em sua composição características que melhoram as qualidades de desempenho do asfalto convencional.

Bernucci et al. (2008) cita que “a mistura de agregados e ligantes é realizada em usina estacionária e transportada posteriormente por caminhão para a pista é lançada por equipamento apropriado, denominado vibro acabadora.”

A seguir na Figura 10, detalha o processo da mistura do asfalto borracha com os agregados até chegar no ligante asfalto borracha. O primeiro passo é a coleta de pneus descartados, o segundo é a trituração dos pneus, posteriormente a borracha moída é inserida ao ligante asfáltico e misturada ao agregado. Com o ligante asfalto borracha pronto, o mesmo fica armazenado em local específico para CAUQ até ser realizado o transporte para o local de aplicação.

Figura 10: Processo de mistura estocável do asfalto borracha.



Fonte: Leão (2013)

2.8 Aspecto econômico

O asfalto borracha pode possuir um custo mais elevado em relação ao asfalto convencional, devido a sua fabricação exigir temperaturas mais elevadas o controle tecnológico para que esse material mantenha-se nas características de projeto são mais trabalhosas aumentando o custo de operação (GRECA, 2009).

No ano 2009 foi feito um estudo comparativo realizado por uma empresa pioneira no uso do Asfalto Borracha, onde foi analisado um trecho de 30 km revestidos com asfalto borracha com o intuito de mostrar que a utilização do asfalto borracha quando aproveitado suas características técnicas pode tornar o mesmo com um custo menor quando comparado ao asfalto convencional (GRECA, 2009).

O trecho foi revestido com uma camada de asfalto borracha de 3,5cm de espessura, camada essa que possui a mesma resistência e estabilidade que um trecho de asfalto convencional de 5 cm de espessura (GRECA, 2009).

Nestas condições pode-se perceber que houve um consumo de 26.250 toneladas de asfalto convencional e 18.375 toneladas de asfalto borracha. O custo de usinagem e aplicação e também o custo de asfalto no CBUQ do asfalto borracha foram de 15 a 20% mais caros que o asfalto convencional, como mostra a tabela 3

abaixo.

Tabela 3: Comparativo de custo de aplicação entre asfalto borracha e asfalto convencional em uma obra de pavimentação

Grandezas	Cálculo	Unidades	Tipo de Asfalto		Diferença (%)	
			CAP 50/70	AMB		
A	Quantidade de massa Asfáltica no CBUQ Produzido	-	Ton.	26.250,00	18.375,00	-30,0
B	Custo de Usinagem/Aplicação por tonelada de CBUQ aplicado	-	R\$/Ton.	200,00	230,00	15,0
C	Quantidade de massa x custo de usinagem/aplicação	AxB	R\$	R\$ 5.250.000,00	R\$ 4.226.250,00	-19,5
D	Teor de Asfalto	-	% Peso	5,00	5,50	10,0
E	Custo de asfalto por tonelada	-	R\$/Ton.	1.150,00	1.550,00	34,8
F	Custo de Asfalto no CBUQ	AxDxE	R\$	R\$ 1.509.375,00	R\$ 1.566.468,75	3,8
G	Custo Total da Obra	C + F	R\$	R\$ 6.759.375,00	R\$ 5.792.718,75	-14,3

Fonte: Greca (2009)

2.9 Impactos ambientais

Os pneus inservíveis se tornaram um problema, devido à grande quantidade existente e o descarte inadequado, tornando-se assim um grande fator de degradação ambiental. A produção brasileira de pneus é de 40 milhões de pneus por ano e quase metade dessa produção é descartada nesse período de forma inadequada (Coelho et al. 2015)

No país, é possível encontrar pneus jogados em lixões, rios, ruas e até mesmo no quintal das casas, o que pode ocasionar problemas ambientais e a saúde pública, o mosquito transmissor da dengue, por exemplo, se reproduz em água parada alojada, muitas vezes, em pneus velhos (SILVA, 2016).

O autor ainda expões que além do enorme problema ambiental, pelo risco de contaminação do ar, do solo e do lençol freático, o acúmulo de pneus no ambiente constitui também grave ameaça à saúde pública devido à sua relação direta com a propagação de doenças, em especial no meio tropical.

Conforme Di Giulio (2007), o primeiro impacto positivo no uso de borracha em

misturas asfálticas está no ambiente, pois a restauração de pavimento com esse tipo de asfalto pode usar até mil pneus por quilômetro, o que reduz o depósito desse material em aterros ou fora deles.

Quando um pneu é incinerado, a energia incorporada é perdida e há o impacto adicional da emissão de CO₂. Uma tonelada de pneu picotado emite 2,7 t de CO₂, quando incinerada. Entretanto quando o pneu é picotado e misturado, toda energia incorporada é retida dentro do sistema e não há emissão de CO₂ favorecendo a atmosfera.

Segundo Coelho et al. (2015) as vantagens desse asfalto vão desde o aspecto ambiental até o técnico, permeando ainda aspectos sociais e econômicos. Se não fosse a reciclagem, boa parte desses pneus poderia ser depositada em lugares inapropriados. Desta forma ajudam a construir um asfalto ecologicamente correto e de qualidade.

É proibido a disposição de pneus em aterros no Brasil desde 1999, por diminuir a vida útil dos aterros. Uma das formas de destinação para diminuir tais degradações seria a utilização do pneu inservível na composição da massa asfáltica, onde haveria a adição de borracha triturada em misturas asfálticas que, além de ecologicamente correto, melhora o desempenho dos pavimentos e diminui os custos operacionais (Coelho et al. 2015).

3 METODOLOGIA E PROCEDIMENTOS TÉCNICOS DA PESQUISA

3.1 Classificação da pesquisa quanto aos fins

A pesquisa ocorre em caráter descritivo e comparativo, descrevendo e analisando as características dos elementos estudados correlacionando suas propriedades no intuito de verificar as vantagens e desvantagens de cada um dos tipos de processos investigados.

3.2 Classificação da pesquisa quanto aos meios

Segundo Gil (2010) a pesquisa bibliográfica tem como propósito preencher uma lacuna no conhecimento, buscando entender e desvelar fenômenos, gerando conhecimentos básicos

O presente trabalho foi baseado em pesquisa bibliográfica fundamentada em livros, revistas eletrônicas, artigos científicos, direcionados ao tema que descrevem sobre a utilização do asfalto convencional e do asfalto borracha dentro da engenharia civil, bem como falar sobre aspectos técnicos, econômicos, vantagens e desvantagens, impactos ambientais, realizando uma análise entre eles refinando ideias na intenção de comprovar e ampliar a pesquisa atingindo os objetivos propostos.

Os critérios de inclusão para as obras foram: estar disponível na íntegra e não na forma resumida, estar disponível em língua portuguesa, ter sido publicadas de 2003 até a presente data, exceto as publicações de autores e obras clássicas.

3.3 Tratamento dos dados

A pesquisa iniciou-se pela procura de dados bibliográficos com intuito de adquirir conhecimentos sobre o tema específico. O método de análise baseou-se em leitura de obras literárias e artigos de diversos e renomados autores com foco principal em revestimentos asfálticos, com ênfase no asfalto-borracha.

Nesta pesquisa foram tratados alguns conceitos de definição de pavimentos e suas camadas, em seguida todo o conceito de asfalto-borracha levando em consideração aspectos técnicos e impactos ambientais, e posteriormente uma

análise econômica de uma obra com asfalto borracha e asfalto convencional.

Após a leitura e coleta dos dados científicos pesquisadas, procedeu-se a organização das informações mais relevantes para a construção do referencial teórico, buscando inicialmente mencionar as informações técnicas e logo após as informações específicas correlacionando com dados atuais, vinculando matérias acadêmicas ministradas durante o curso, fornecendo pontos de vista pessoais, porém técnicos, enfim, mencionar todas as percepções do conteúdo estudado, necessárias para compreender todos aspectos relevantes sobre o tema pesquisado

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Desvantagens e vantagens técnicas da utilização do asfalto borracha

O AB apresenta desvantagens como, maior dificuldade operacional e executiva uma vez que necessita de equipamentos especiais que trabalhem em temperaturas mais elevadas, necessidade de pessoal especializado, controle tecnológico e de qualidade eficiente, principalmente no fornecimento do asfalto borracha.

Ainda em comparação com o AC, o AB apresenta desvantagens em relação ao preço, pois o custo por tonelada fabricada, e o custo de usinagem e aplicação é mais elevado, sendo assim, o custo inicial de implantação do AB ainda é superior ao AC. Isto se dá devido à falta de incentivos fiscais e falta de conhecimento das empresas em processar a borracha que será utilizada no asfalto.

No entanto, o uso em relação ao AC ainda é mais vantajoso. O AB apresenta um custo-benefício viável de implantação a longo prazo, pois: os custos de manutenção são bem menores quando comparados com o asfalto tradicional devido à durabilidade proporcionada pela adição da borracha na pavimentação, a espessura do asfalto é reduzida pela metade, ou seja, menos consumo de asfalto que é derivado o petróleo.

Pelo o que foi observado acerca do AB e do AC, em termos gerais o AB sobressai em relação ao AC em razão de características técnicas, econômicas a longo prazo, e de segurança, além dos ganhos ambientais com a disposição adequada dos pneus inservíveis. Já o asfalto convencional AC possui menor resistência à problemas como trincas, fissuras, deformações em trilhas de rodas entre outros.

Greca (2011), explica que o asfalto borracha envelhece menos durante a usinagem diminuindo a geração de trincas de fadiga, isso faz com que o pavimento tenha menos manutenções.

Leão (2013) aponta os benefícios que o asfalto borracha gera.

- Maior resistência ao calor;
- Maior resistência à propagação de trincas e formação de trilhas de roda;

- Maior impermeabilidade;
- Melhor aderência do pneu ao pavimento, proporcionando mais segurança aos usuários;
- Redução do ruído até 85 % provocado pelo tráfego;
- Impedem o acúmulo de água e sua projeção nos para-brisas dos veículos, melhorando as condições óticas.

No que diz respeito a vida útil do ligante asfáltico no período de usinagem Greca (2011) destaca que com o uso do AB esta questão é minimizada devido a fatores como a espessura de película e a recuperação elástica do ligante após o envelhecimento. Como o AB possui maior viscosidade do ligante, a espessura de película deve ter um nível maior do que a encontrada em um CAP convencional, obtendo assim um menor envelhecimento do ligante no decorrer processo de usinagem.

Já a recuperação elástica do ligante, Greca (2011), destaca que ao contrário do que ocorre com os demais ligantes convencionais, há um ganho nessa característica, este ganho é importante pois mesmo após a oxidação ocorrida no processo de usinagem e aplicação da massa asfáltica, acaba se tornando uma mistura asfáltica mais flexível.

Dessa maneira, fica claro que este é mais um fator que colabora com o aumento da durabilidade da mistura asfáltica e do revestimento.

4.2 Análise econômica

Como mostra o levantamento demonstrado no tópico 2.7, foi realizada uma análise de custos de uma obra de restauração do revestimento de uma via de 30 km de extensão, a aplicação da espessura do revestimento AC foi de 5 cm, especificada pelo projeto. Igualmente, foi mostrado um orçamento com revestimento AB, com espessura de 3,5 cm para os mesmos 30 km.

De acordo com os dados, para o revestimento AC, foram necessárias 26.250 toneladas de massa asfáltica, enquanto que para o AB, 18.375 toneladas.

Observando que são produzidas mensalmente cerca de 9.000 toneladas de massa asfáltica, a aplicação do AC sucederá em três meses, enquanto o AB precisará de dois meses, assim conseqüentemente ocorrerá uma redução de um

mês de custos industriais e operacionais para aplicação do revestimento.

Em relação ao preço da tonelada, o valor da execução do AB ficou R\$ 30,00 mais caro em relação ao AC. Esta diferença de 15% se dá devido ao custo de usinagem do AB, que é produzido em temperaturas mais altas em comparação com AC.

O cálculo abaixo demonstra o percentual de redução de custo apresentado na análise:

Redução de Custo

$$(\text{Custo Total AC} - \text{Custo Total AB}) = \text{Redução de custo}$$

Redução de Custo

$$(6.759.375,00 - 5.792.718,75) = 966.656,25$$

Porcentagem

$$\frac{(\text{Redução de custo}) \times 100}{\text{Custo total AC}}$$

$$\frac{966.656,25 \times 100}{6.759.375} = 14,3 \%$$

Tabela 4: Redução de custos utilizando AB.

Redução de Custo do CBUQ com AB em Substituição ao CAP 50/70	
R\$	966.656,25
%	14,3

Fonte: Greca (2009)

Através dos dados acima expostos, pode-se considerar que a utilização do AB permite uma diminuição de 14,3% no custo de aplicação com espessura de 3,5 cm.

4.3 Impactos ambientais

A destinação dos pneus usados inservíveis sempre foi um grande problema econômico e ambiental, e uso da borracha de pneu em pavimentos veio como uma

grande alternativa de destinação destes pneus.

A tabela 5 descreve o que Bernucci et al. (2008) diz sobre os componentes de um pneu de passeio típico (Goodyaer P195/75R14), com massa aproximada de 10 kg.

Tabela 5: Componentes de um pneu passeio típico (Goodyaer P195/75R14), com massa aproximada de 10 kg.

Massa (kg)	Produto
2,5	Diferentes tipos de borracha sintética
2,0	Diferentes tipos de borracha natural
2,5	8 tipos de negro-de-fumo
0,75	Aço para cinturas
0,5	Poliéster e náilon
0,25	Arames de aço
1,5	Produtos químicos, óleos e pigmentos

Fonte: Adaptado Bernucci et al. (2008)

Todos esses produtos demoram anos para se degradarem no meio ambiente, e uma solução sustentável é promover a destinação adequada e sustentável a estes pneus, que seria a reciclagem.

Araújo (2015), explica que para cada quilômetro de asfalto borracha realizados, são gastos cerca de 1000 pneus.

Até 2011, mas de 8 mil quilômetros de estradas brasileiras já tinham sido revestidas com o asfalto borracha, retirando do meio ambiente cerca de 5 milhões de pneus inservíveis.

A tabela 6 demonstra o que segundo Nakamura (2011), significa a economia gerada pelo uso de pneus descartados na produção de asfalto

Tabela 6: Economia gerada pelo uso de pneus descartados na produção de asfalto.

Economia	Valor (R\$)	Para cada:
Petróleo	14 milhões	1.000 Km em asfaltos
Pedras	26 milhões	1.000 Km
Energia	10 milhões	1.000 km em transporte
Tempo de viagem	25 milhões	Veículos/ano
Aterros sanitários	8 milhões	1.000 Km

Fonte: Adaptado Bernucci et al. (2008)

O asfalto borracha é um grande aliado quando se diz respeito a retirada dos pneus inservíveis do meio ambiente. Como foi exposto neste trabalho, milhões de pneus são descartados na natureza todo ano gerando danos ambientais, e o uso dos pneus como elemento para fabricação do asfalto faz com que tenha uma destinação correta dos mesmos e evite problemas ambientais

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Brasil é um país onde a grande parte das rodovias encontra-se em más condições de tráfego, o que gera um grande desconforto e insegurança para seus usuários. O transporte rodoviário é o principal meio de transporte, tanto para cargas, quanto para locomoção de pessoas por todo o país. Sendo assim, há necessidade de buscar soluções e estudos que ofereça ganhos ecológicos, técnicos e sociais.

Ao longo do estudo feito neste trabalho, verificou-se que apesar de se utilizar ainda o asfalto convencional, foi comprovado por muitos autores e empresas, que o asfalto borracha apresentou superioridade em todos os aspectos estudados, sendo assim a viabilidade do mesmo é clara, pois é economicamente viável, tecnicamente superior e ambientalmente correto em relação ao asfalto convencional.

No que se diz respeito ao aspecto econômico, como foi mostrado no trabalho, o custo final de uma obra com a utilização do asfalto borracha é menor quando comparado ao asfalto convencional, devido as características técnicas do mesmo faz com que se use menos quantidade de material para o mesmo trecho pavimentado, reduzindo o custo. Além do fato do asfalto borracha ser mais durável, reduzindo custos com manutenção em longo prazo.

Atualmente o asfalto borracha possui técnicas de aplicação avançadas, resultando em pavimentos de alta qualidade. As vantagens são visíveis, no quesito técnico, percebe - se que com o uso da borracha no ligante, gera um aumento na elasticidade do material asfáltico, apresentando uma menor suscetibilidade térmica, o que proporciona mais conforto e segurança para usuários, maior durabilidade, flexibilidade, aumento na aderência pneu-pavimento aumentando a sua vida útil, além disso, o mesmo conserva-se seis vezes a mais que asfalto convencional, referente à propagação de trincas.

Em relação ao meio ambiente, o asfalto borracha é uma solução real para os problemas dos pneus inservíveis que são descartados de forma errônea no meio ambiente, este é um dos fatores responsável pelo sucesso dessa tecnologia, direcionando-os adequadamente terão finalidades ecologicamente correta, desta forma, melhorar a nossa pavimentação e evitar doenças que são geradas por descartes inadequados.

REFERÊNCIAS

ANIP Agencia Nacional da indústria de pneumáticos. *Pneus destinados*. Disponível em: <<http://www.reciclanip.org.br/v3/>>. Acesso em: 25 nov. 2017.

AMBROZEWICZ, P. H. L. *Materiais de construção: normas, especificações, aplicação e ensaios de laboratório*. 1 ed. São Paulo: Ed. PINI, 2012. 460p

ARAÚJO, D. H. *Análise comparativa do asfalto borracha com o asfalto convencional e o asfalto com adição de polímeros*. 2015. 88 p. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Centro Universitário de Formiga – UNIFOR-MG, Formiga/MG, 2015.

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

BASTOS, J. B. S. *Considerações sobre a deformação permanente de pavimentos asfálticos no dimensionamento mecanístico-empírico*. 2016. 200 p. Tese – (Doutorado)-Universidade Federal do Ceará, Fortaleza/CE, 2016.

BERNUCCI, Lied et al., *Pavimentação asfáltica – formação básica para engenheiros*. Rio de Janeiro, RJ: Petrobras/Abeda, 2008. 504p.

BERTOLLO, S. A. M.; FERNANDES JR., J. L.; SCHALCH, V.. Benefícios da Incorporação de Borracha de Pneus em Pavimentos Asfálticos, In: XXVIII CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA Y AMBIENTAL. 27 al 31 de octubre, 2002. Cancun, México. P 4-5: Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/mexico26/iv-003.pdf>>. Acesso em: 01 setembro 2017.

CATAPRETA, A.A.C.; ZAMBIASI, A.C.; LOYOLA, J.A.L. Uso da borracha de pneus na pavimentação como uma alternativa ecologicamente viável. In: VII CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL. Campina Grande, 21 a 24, nov 2016.

COELHO, A. L. et al. Impactos ambientais causados pelo descarte incorreto dos pneus inservíveis, e a sua utilização na massa asfáltica. *Anuário de Produções acadêmico - científicas dos discentes da Faculdade Araguaia, Goiana /GO, v.3, n.1, p.321-321.2015*. Disponível em: <<https://www.fara.edu.br/sipe/index.php/anuario/article/view/285>>. Acesso em: 16 set. 2017.

CNT. Confederação Nacional de Transportes. Pesquisa CNT de rodovias. Relatório gerencial. 20.ed. Brasília 2016. Disponível em: <[http://pesquisarodoviascms.cnt.org.br/Relatorio%20Geral/Pesquisa%20CNT%20\(2016\)%20-%20LOW.pdf](http://pesquisarodoviascms.cnt.org.br/Relatorio%20Geral/Pesquisa%20CNT%20(2016)%20-%20LOW.pdf)> Acesso em: 15 set. 2017.

CNT - Confederação Nacional de Transportes. Pesquisa CNT de rodovias. Relatório gerencial. Brasília, 2014. Disponível em: <http://pesquisarodovias.cnt.org.br/Downloads/Edicoes//2014/Relat%C3%B3rio%20Gerencial/Pesquisa_CNT_de_Rodovias_2014_LOW.pdf> Acesso em: 15, set. de 2017

CONAMA – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE *Resolução nº 258, de 26 de Agosto de 1999 . Empresas fabricantes e as importadoras de pneumáticos ficam obrigadas a coletar e dar destinação final ambientalmente adequada aos pneus inservíveis.* Ministério do Meio Ambiente, Governo Federal, Brasil

DIEHL, Astor Antonio. Pesquisa em ciências sociais aplicadas: métodos e técnicas. São Paulo: Prentice Hall, 2004. 168p.

DI GIULIO, G. Vantagens ambientais e econômicas no uso de borracha em asfalto. *Inovação Uniemp.* Campinas, v.3, n.3,p 14, jun. 2007.

DNIT - DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTE. *Manual de conservação rodoviária. Instituto de pesquisa rodoviária.* 2005. Disponível em: < http://ipr.dnit.gov.br/normas-e-manuais/manuais/documentos/710_manual_de_conservacao_rodoviaria.pdf >. Acesso em: 10/04/2017.

_____. *DNIT 111/2009* – EM: Pavimentação flexível - Cimento asfáltico modificado por borracha de pneus inservíveis pelo processo via úmida, do tipo “Terminal Blending” - Especificação de material. P. 01/06.

_____. *DNIT 112/2009* – EM: Pavimentação flexível - Cimento asfáltico modificado por borracha de pneus inservíveis pelo processo via úmida, do tipo “Terminal Blending” - Especificação de serviço. P. 01/13.

_____. *DNIT 095/2006* – EM: Cimentos asfálticos de petróleo - Especificação de material. P. 01/06.

FOCHESATTO, F. Utilização de resíduos de borracha reciclada em pavimentações

asfálticas – asfalto borracha. *Especialize*, Porto Alegre, ed.10, dezembro de 2015. Disponível em: < <https://www.ipog.edu.br/revista-especialize-online/edicao-n10-2015/utilizacao-de-residuos-de-borracha-reciclada-em-pavimentacoes-asfalticas--asfalto-borracha/>> Acesso em: 15 de set. 2017

FONTANA FILHO, A. *Análise laboratorial de misturas usinada à quente com a utilização de diferentes ligantes*. 2009. 148p. Dissertação (Mestrado em engenharia geotécnica) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto/MG, 2009.

GARCIA, H. F. *Modelagem matemática dos efeitos do carregamento na degradação de pavimentos flexíveis*. 118 p. Dissertação (Pós- graduação) – Universidade Regional do Noroeste do estado do Rio Grande do Sul – Ijuí/RS, 2010.

GIULIO, G. Vantagens ambientais e econômicas no uso de borracha em asfalto. Campinas, *Instituto UNIEMP*, v.3 n.3, maio/jun 2007. Disponível em: <http://inovacao.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=s1808-23942007000300008&lng=es&nrm=is> Acesso: 10, set. 2017

GIL, A. C. *Como elaborar projeto de pesquisa*. 5 ed. São Paulo: Atlas, 2010. 200 p.

GOMES FILHO, C. V. *Levantamento do Potencial de Resíduos de Borracha no Brasil e Avaliação de sua Utilização na Indústria da Construção Civil*. 137p. Dissertação (Mestrado em tecnologia) - Instituto de Engenharia do Paraná, Curitiba/PR, 2007.

GRECA ASFALTOS. Folheto técnico. Linha Ecoflexpave. Estudo ecoflex. Araucária,2009. Disponível em:< http://www.flexpave.com.br/leiamais_ecoflex/13_estudo_ecoflex_2009.pdf > . Acesso em 25 de abril de 2017.

GRECA ASFALTOS – Revista Fatos e Asfaltos. Informativo quadrimestral greca asfaltos. nº 24. Araucária, outubro de 2011. Disponível em: <http://www.grecaasfaltos.com.br/fatos/fatos_24.pdf>. Acesso em 10 de out de 2017.

GUIMARAES A. C. R. *Um método mecânico-empírico para a previsão da deformação permanente em solos tropicais constituintes de pavimentos*. 2009. 40 p. Tese (Doutorado) - Programa de Engenharia Civil da COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro, 2009.

HILARIO, R. Q. *Uso de pavimento reciclado adicionado com cimento para uso co reforças de base para rodovias –Estudo de caso: BR-120*. 2016. 139 p. Dissertação

(Pós –graduação em geotecnia) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto/MG, 2016.

JUNIOR, J.A. A. Evolução tecnológica: Desenvolvimento dos revestimentos asfálticos produzidos com asfaltos modificados por polímeros e borracha de pneus no Brasil. *Asfalto em revista*, ano 4, n. 20. Rio de Janeiro, nov. 2011. Disponível em: < <http://www.sinicesp.com.br/materias/2012/bt07a.htm>> Acesso em 10 de abril de 2017.

LEÃO, C.F.L. Benefícios da utilização de borracha granulada em obras públicas, 8, ed. São Paulo, 2013. Disponível em: < <http://www.sinicesp.org.br/materias/2013/bt08a.htm> >. Acesso em: 15, maio 2017

LUCIANO, C.A.A; PAULI, D. B; CARDINAL, J. Pavimento flexível: Análise econômica da aplicação do asfalto borracha na BR-163. *Revista Infinity*, v.2, n. 1. p 133, 2017. Disponível em :< <http://revista.faifaculdades.edu.br:8080/index.php/infinity/article/view/289>>Acesso em: 05 set.2017

MAIA, C.M.I. *Caracterização de patologias em pavimentos rodoviários*. 2012. 77p. Dissertação (Mestrado em engenharia civil) – Faculdade de engenharia Universidade do Porto, FEUP. Porto , 2012.

MARQUES, C. M. *Estudo comparativo entre asfalto borracha ao asfalto convencional considerando aspectos de custos e benefícios*. 2017. 39 p. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Faculdades Unificadas de Teófilo Otoni, Teófilo Otoni/MG, 2017.

MOURA, Edson. Transporte e obras em terra: movimento de terra e pavimentação. Apostila de materiais de pavimentação. São Paulo, 2017. Disponível em: <www.professoredmoura.com.br>. Acesso em 24, set. 2017.

NABESHIMA, C.K.Y; ORSOLIN, K; SANTOS, R.K.X. *Análise comparativa entre sistemas de pavimentação urbana baseados em concreto asfáltico e blocos de concreto intertravados (pavers)*.2011.122 p. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba/PR, 2011.

NAKAMURA, J. Pavimentação asfáltica – Os tipos de revestimento, o maquinário necessário e os cuidados na contratação, projeto e execução . *Infraestrutura urbana*, São Paulo, ed.16, dezembro de 2011. Disponível em: < <http://infraestruturaurbana17.pini.com.br/solucoes-tecnicas/16/pavimentacao->

asfaltica-os-tipos-de-revestimentos-o-maquinario-necessario-260588-1.aspx>
Acesso em: 15 de set. 2017

NEVES FILHO, C. L. D. *Avaliação laboratorial de Misturas asfálticas SMA produzidas com ligante asfalto-borracha*. 2004. 67 p. Dissertação (Mestrado em engenharia civil) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos/SP, 2004.

ORSI; SIMON; CRISTIANA. Asfalto borracha: uma alternativa ambiental para pneu em desuso. Disponível em: <
<http://www.ufrgs.br/ensinodareportagem/meiob/asfaltob.html>>. Acesso em: 20, set. 2017.

PINTO, S.; PREUSSLER, E. *Pavimentação rodoviária. conceitos fundamentais sobre pavimentos flexíveis*. 2ª ed. Rio de Janeiro – RJ. COPIART. 2002. 259p.

RODRIGUES, R. M. *Estudo do trincamento dos pavimentos*. 2005. 208p. Tese (Doutorado em Engenharia) – COPPE. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2005.

RAMALHO, A. V. F. *Uma análise dos benefícios com a utilização do asfalto borracha nas rodovias do Brasil*. 2009. 77 f. Dissertação (Tecnólogo em Logística) – Faculdade de Tecnologia da Zona Leste, São Paulo. 2009. Disponível em: <
<http://www.poslogistica.com/web/TCC/2009-2/tcc-214.pdf> >.
Acesso em 16 set 2017.

SILVA, A. E. *Cabotagem versus transporte rodoviário: um estudo de caso da distribuição de arroz do sul catarinense para o nordeste brasileiro*. 2014. 70 p. Monografia (Graduação em Administração) - Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma/SC, 2014.

SILVA, A. F.; SIRQUEIRA, J. C; SEVERINO, L. F. *Estudo comparativo de concreto betuminoso usinado a quente com diferentes tipos de ligantes utilizados em Goiânia*. 2016. 74 p. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia/GO, 2016.

SPECHT, L.P. *Avaliação de Misturas Asfálticas com Incorporação de Borracha Reciclada de Pneus*. 2004. 279 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Abril de 2004

THIVES, P.L. et al. Influência do tipo de asfalto base no desempenho mecânico de misturas com asfalto borracha, 4 ed. São Paulo, 2013. Disponível em: < <http://www.sinicesp.org.br/materias/2013/bt04a.htm>>. Acesso em: 16, maio 2017.

WICKBOLDT, V. S. *Ensaio acelerados de pavimentos para avaliação de desempenho de recapeamentos asfálticos*. 2005. 134 p. Dissertação (Mestrado em engenharia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2005.

SENÇO, Wlastermiller de. *Manual de técnicas de pavimentação: volume 1 . 2. Ed.* São Paulo: Pini, 2007. 761 p.

ZATARIN, A. P.M et al. Viabilidade da pavimentação com asfalto-borracha, Florianópolis, *Revista gestão e sustentabilidade ambiental*, v.5, n.2, p.649-674, out.2016/mar.2017. Disponível em : <<http://dx.doi.org/10.19177/rgsa.v5e22016649-674>> Acesso em: 01 nov. 2017.