

ASSOCIAÇÃO VITORIENSE DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E CULTURA - AVEC  
CENTRO UNIVERSITÁRIO FACOL - UNIFACOL  
COORDENAÇÃO DO CURSO ENGENHARIA CIVIL - BACHARELADO

GUSTAVO PEDRO DE ALBUQUERQUE REIS

**ANÁLISE COMPARATIVA TÉCNICA E ECONÔMICA ENTRE O ASFALTO  
BORRACHA E O ASFALTO CONVENCIONAL**

VITÓRIA DE SANTO ANTÃO - PE  
2021

GUSTAVO PEDRO DE ALBUQUERQUE REIS

**ANÁLISE COMPARATIVA TÉCNICA E ECONÔMICA ENTRE O ASFALTO  
BORRACHA E O ASFALTO CONVENCIONAL**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Curso de Engenharia Civil  
do Centro Universitário FACOL -  
UNIFACOL, como requisito parcial para a  
obtenção do título de Bacharel em  
Engenharia Civil.

Área de Concentração: Engenharia Civil

Orientador(a): Prof. Me. Marcílio Monteiro

<sup>1</sup>M783d

<sup>2</sup>MONTENEGRO, Gildo Assis de.

<sup>3</sup>Desenho arquitetônico: história da arquitetura. / Gildo Assis de Montenegro. Vitória de Santo Antão: FACOL – Faculdade Escritor Osman Lins, 2008.2  
\*48f.

**Bibliografia**

\*\*Monografia realizada no Curso de Arquitetura orientada pelo Prof. José Silva.

\*\*\*1. Desenho arquitetônico. 2. História da arquitetura – Brasil. I Título.

CDD 744.424



ASSOCIAÇÃO VITORIENSE DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E CULTURA - AVEC  
CENTRO UNIVERSITÁRIO FACOL - UNIFACOL  
COORDENAÇÃO DE TCC DO CURSO DE \_\_\_\_\_



TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO  
ATA DE DEFESA

Nome do Acadêmico:

Título do Trabalho de Conclusão de Curso:

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentada ao Curso de  
\_\_\_\_\_ do Centro  
Universitário FACOL - UNIFACOL, como  
requisito parcial para a obtenção do título de  
Bacharel em

\_\_\_\_\_  
Área de Concentração:

Orientador:

A Banca Examinadora composta pelos Professores abaixo, sob a Presidência do primeiro, submeteu o candidato à análise da Monografia em nível de Graduação e a julgou nos seguintes termos:

Professor: \_\_\_\_\_

Julgamento – Nota: \_\_\_\_\_ Assinatura: \_\_\_\_\_

Professor: \_\_\_\_\_

Julgamento – Nota: \_\_\_\_\_ Assinatura: \_\_\_\_\_

Professor: \_\_\_\_\_

Julgamento – Nota: \_\_\_\_\_ Assinatura: \_\_\_\_\_

Nota Final: \_\_\_\_\_. Situação do Acadêmico: \_\_\_\_\_. Data: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_

MENÇÃO GERAL:

Coordenador de TCC do Curso de \_\_\_\_\_:

< Nome do coordenador de TCC do Curso aqui >

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente gostaria de agradecer a Deus a minha mãe Cilene por proporcionar tudo o que foi necessário para a conclusão deste curso e a todos meus familiares que me apoiaram e torceram por mim durante toda essa trajetória. Ao meu orientador Me. Marcílio Monteiro por todo conhecimento repassado, para a elaboração deste trabalho. A professora Anna Tscha da disciplina de TCC por toda paciência, motivação e todo conhecimento passado para montar toda a estrutura desta pesquisa.

*“Procure descobrir o seu caminho na vida.  
Ninguém é responsável por nosso destino, a não  
ser nós mesmos.”*

*(Chico Xavier)*

## RESUMO

Ao passar dos anos a evolução dos meios de transportes terrestres, criou-se a necessidade de desenvolver estudos de novas técnicas construtivas para a promoção de melhorias na pavimentação asfáltica. Contudo, este trabalho demonstra uma análise comparativa técnica, econômica entre o asfalto convencional e o asfalto com adição de pó de borracha ao ligante. Foi realizado um levantamento bibliográfico, em que foi estudado sobre toda estrutura que compõe os pavimentos seguindo da história do asfalto borracha, desde do início dos estudos na década de 40, qual o melhor procedimento a ser aplicado, é o uso dos pneus inservíveis nesse processo tem apresentado melhorias nas questões ambientais. Durante as pesquisas, observou-se que de acordo com os benefícios encontrados no asfalto-borracha, ele se torna uma alternativa viável, tendo um conforto e uma durabilidade mais relevante, colaborando com a minimização diminuição de um problema muito sério e atual que são os resíduos ambientais. Quando comparado a técnica construtiva convencional ao pavimento de asfalto borracha tem um investimento com uma maior ordem de grandeza, porém este pavimento tem um menor custo de manutenção. Sendo assim observou-se que de acordo com os benefícios encontrados no asfalto-borracha, se torna uma alternativa viável em substituição ao convencional.

**Palavras-Chave:** Pavimentação. Asfalto Borracha. Asfalto Convencional.

## ABSTRACT

Over the years, the evolution of land transport means, there was a need to develop studies of new construction techniques to promote improvements in asphalt pavement. However, this work demonstrates a comparative technical, economical analysis between conventional asphalt and asphalt with the addition of rubber powder to the binder. A bibliographic survey was carried out, in which it was studied about the entire structure that composes the pavements, following the history of rubber asphalt, since the beginning of the studies in the 40s, which is the best procedure to be selected, is the use of waste tires in process has shown improvements in environmental issues. During the research, observing that according to the benefits found in the asphalt-rubber, it becomes a viable alternative, having a more relevant comfort and durability, collaborating with the minimization of the reduction of a very serious and current problem that are environmental waste. When compared to a conventional construction technique, the rubber asphalt pavement has an investment with a higher order of magnitude, but this pavement has a lower maintenance cost. Thus, it is observed that according to the benefits found in asphalt-rubber, it becomes a viable alternative in substitution to the conventional one.

**Key- Words:** Paving. Rubber Asphalt. Conventional Asphalt.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Camadas do pavimento .....	13
Figura 2 - Recapeamento asfáltico sendo executado com CBUQ .....	20
Figura 3 - Pavimento revestido em CAP .....	21
Figura 4 - Pavimento revestido por asfalto borracha .....	23
Figura 5 - Ciclo do pneu até sua reciclagem na Reciclanip.....	24
Figura 6 - Reciclagem do pneu .....	25
Figura 7 - Sistema de trituração de pneus inservíveis em temperatura ambiente .....	26
Figura 8 - Sistema de trituração criogênica de pneus .....	27
Figura 9 - Destino final dos pneus inservíveis .....	27
Figura 10 - Esquema de fabricação do asfalto-borracha pelo processo de via úmida ...	29
Figura 11 - Ilustração da mistura com partículas sólidas de borracha .....	30
Figura 12 - Vantagens técnicas do asfalto borracha .....	32
Figura 13 - Consistência maior do asfalto-borracha quando comparado ao asfalto convencional .....	35
Figura 14 - Pistas após simulação de tráfego .....	36
Figura 15 - Placas após serem sujeitas ao simulador de tráfego .....	37

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANP	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
ANTT	Agência Nacional de Transportes Terrestres
ASTM	American Society for Testing and Materials.
CAP	Cimento Asfáltico de Petróleo
CAUQ	Concreto Asfáltico Usinado à Quente
CBR	California Bearing Ratio
CBUQ	Concreto Betuminoso Usinado a Quente
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
LCPC	Laboratoire central des ponts et chaussées
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	12
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	13
<b>2.1 Estrutura do pavimento flexível</b> .....	13
2.1.1 Subleito .....	14
2.1.2 Reforço de subleito .....	14
2.1.3 Camada de sub-base .....	15
2.1.4 Camada de Base .....	15
2.1.5 Camada de ligação.....	15
2.1.6 Camada de revestimento .....	16
<b>2.2 Agregados da pavimentação</b> .....	16
2.2.1 Tipos de agregados quanto à sua natureza.....	16
2.2.1.1 Agregado natural.....	17
2.2.1.2 Agregado artificial .....	17
2.2.1.3 Agregado reciclado .....	17
2.2.2 Classificação dos agregados quanto ao tamanho .....	18
<b>2.3 Cimento Asfáltico de Petróleo – CAP</b> .....	18
<b>2.4 Asfalto modificado por borracha de pneus inservíveis</b> .....	21
2.4.1 Uso da borracha na pavimentação no mundo .....	22
2.4.2 Uso do asfalto borracha no Brasil .....	22
2.4.3 Gerenciamento da reciclagem e reutilização de pneus inservíveis .....	23
2.4.4 Método de trituração dos pneus .....	25
2.4.5 Processos de inclusão da borracha ao asfalto.....	27
2.4.5.1 Processo por via úmida .....	28
2.4.5.2 Processo por via seca .....	30
<b>3 METODOLOGIA</b> .....	31
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	32
4.1.1 Características técnicas do asfalto borracha.....	32
4.1.2 Características técnicas por via seca.....	33
4.1.3 Características técnicas por via úmida.....	34
4.1.4 Comparação técnica entre o asfalto borracha e o asfalto convencional .....	34
<b>4.2 Variáveis de mistura asfalto borracha</b> .....	37
<b>4.3 Viabilidade econômica</b> .....	39

<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>43</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>44</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Ao passar dos anos a evolução dos meios de transportes terrestres, fez com que a necessidade desenvolver estudos assim como realizar melhorias nas estradas. Contudo, uma das melhorias encontrada, foi a pavimentação rodoviária. O pavimento é uma estrutura capaz de resistir aos esforços verticais advindo do tráfego de veículos e das condições climáticas *in loco*, o qual tem como finalidade proporcionar melhores condições de segurança e conforto aos usuários.

Um dos métodos mais usados atualmente é o revestimento de asfalto flexível, que é o revestimento de asfalto comum composto por uma mistura de ligante asfáltico e agregados.

Com o avanço nos estudos sobre materiais que possam ser usados para revestir os asfaltos surge o asfalto-borracha. Esse tipo de ligante utiliza pneus inservíveis na forma de borracha moída ou em pó, em outrora considerados resíduos a serem descartados, podendo ser feito pelo processo de via úmida ou via seca (BERTOLLO *et al.*, 2002).

Visando novas alternativas sustentáveis, surgem a reutilização da borracha de pneus inservíveis em revestimentos asfálticos. Assim demonstrando que a construção civil está aliada com às questões ambientais. Entretanto essa alternativa busca outros fatores como, a melhor viabilidade econômica e maior resistência no pavimento.

Esta monografia tem como objetivo de pesquisa, analisar a possibilidade da inclusão da borracha de pneus inservíveis ao ligante asfáltico em comparação ao asfalto convencional, levantando dados dos dois tipos de asfalto, comparando a viabilidade econômica e técnica dos mesmos.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 Estrutura do pavimento flexível

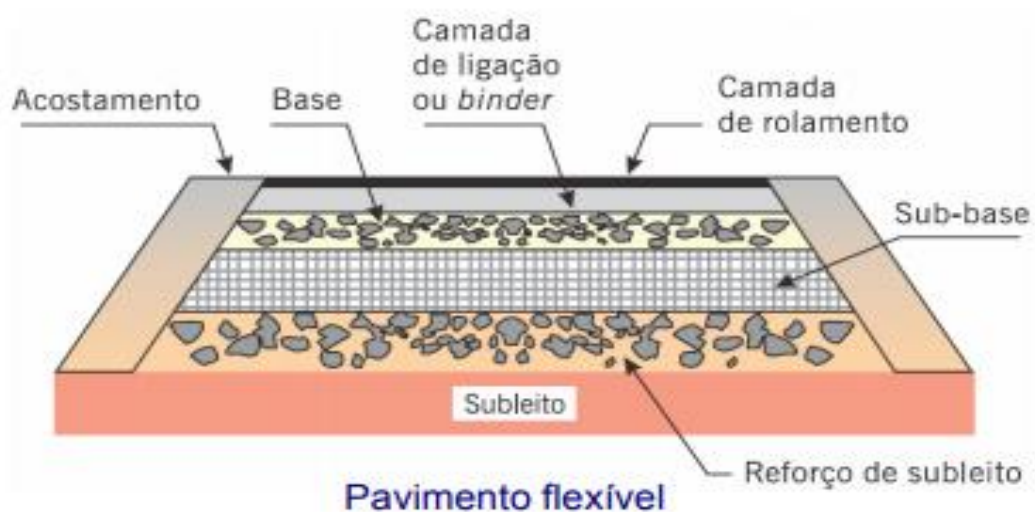
O pavimento flexível é aquele em que todas as camadas sofrem deformação elástica significativa sob o carregamento aplicado e, portanto, a carga se distribui em parcelas aproximadamente equivalentes entre as camadas (Manual do DNIT, 2006).

Segundo Balbo (2007), cada camada do pavimento possui uma ou mais funções específicas, que devem proporcionar aos veículos as condições adequadas para rodagem em qualquer condições climáticas.

Os pavimentos asfálticos são aqueles em que o revestimento é composto por uma mistura constituída basicamente de agregados e ligantes asfálticos. É formado por quatro camadas principais: revestimento asfáltico, base, sub-base e reforço do subleito. (BERNUCCI *et al*, 2008; SENÇO, 2007; ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1990).

Como dito a cima por Ceratti *et al*, (2006), o pavimento flexível é composto por varias camadas. Podendo ser exemplificada na figura 1 abaixo, camada por camada.

**Figura 1** – Camadas do pavimento



Fonte: Senço, 2007

As camadas de um pavimento são diferentes matérias que resistem as deformações quando colocada em contato respeitando aos cálculos de tensões e deformações atuantes nas mesmas. (DNIT, 2006).

### 2.1.1 Subleito

O subleito é constituído por materiais naturais do terreno consolidado e compactado. Os esforços solicitantes após passarem por todas as camadas e chegar até o subleito são recebidos de forma aliviada e se dissipam no primeiro metro da fundação. (BALBO, 2007)

O Pavimento com subleitos de boa qualidade exige uma estrutura de pavimentação menos espessa e em consequência disso, poderá até dispensar a execução de camadas como reforço do subleito e sub-base, isso vai depender do valor de *California Bearing Ratio* (CBR). Este ensaio foi idealizado para avaliar o potencial de ruptura do subleito, uma vez que era o defeito frequente nas rodovias do estado da Califórnia naquele período (Porter, 1950). O ensaio avalia a resistência do material frente a deslocamentos significativos, sendo obtida por meio de ensaio penetrométrico em laboratório. (SENÇO, 2007).

### 2.1.2 Reforço de subleito

Segundo Balbo (2007), a camada de reforço deve ser executada quando o solo natural for composto por um materiais pobres que necessitam de uma camada de suplementação para suportar os esforços do tráfego de cargas muito pesadas.

O reforço de subleito deve ser executado apenas quando necessário, pois espessuras maiores de camadas superiores poderiam aliviar as pressões sobre uma camada de subleito inferior. Entretanto ela é utilizada em tais circunstâncias por questões econômicas de projeto, pois subleitos de resistências baixas exigiriam, para alguns tipos de pavimentos, camadas mais espessas de base e sub-base. Basicamente, o reforço por sua vez resistirá a solicitações de maior ordem de grandeza, assim respondendo parcialmente pelas funções do subleito, assim obtendo menor custo e exigindo espessuras menores da base e sub-base. (BALBO, 2007).

### 2.1.3 Camada de sub-base

A sub-base é a camada que complementa a base por motivos de condições técnicas e econômicas não for aconselhável construir a base diretamente sobre regularização. Sendo uma camada com custo unitário menor do que a base e, por este motivo, é utilizada para diminuir a espessura da camada de base (DNIT, 2006).

Segundo Balbo (2007), a camada de sub-base pode ser constituída por solos estabilizados naturalmente ou quimicamente com ligante hidráulico ou asfáltico, misturas de solos e agregado, brita graduada, brita graduada tratada com cimento e concretos.

### 2.1.4 Camada de Base

A base é a camada de pavimentação destinada a resistir aos esforços verticais oriundos do tráfego e sobre o qual se constrói o revestimento, distribuindo-os adequadamente à camada subjacente (DNIT, 2006).

Segundo Balbo (2007), as bases podem ser constituídas por solos estabilizados naturalmente, misturas de solos e agregados (solo-brita), brita graduada, solo estabilizado quimicamente com ligante hidráulico ou asfáltico etc.

### 2.1.5 Camada de ligação

Camada de ligação ou Binder como também é conhecido é empregado quando se usa revestimento asfáltico em duas camadas, sendo a camada de rolamento executada com Concreto Asfáltico Usinado à Quente (CAUQ).

São constituídas por agregados minerais com diâmetro maiores de graduação, maior porcentagem de vazios e com menor presença de material de enchimento.



### 2.1.6 Camada de revestimento

O revestimento tem função de receber cargas estáticas ou dinâmicas, sem sofrer grandes deformações elásticas ou plásticas, desagregação de componentes ou até mesmo a compactação, para que isso não ocorra os materiais devem estar bem unificados a fim de evitar sua movimentação horizontal. (BALBO 2007).

A camada de revestimento de um pavimento também conhecida como capa de rolamento ou, simplesmente, capa e é a camada mais nobre de um pavimento, sendo assim a de maior custo. Deve atender a boas condições de conforto e segurança do usuário. (SENÇO, 2007).

## 2.2 Agregados da pavimentação

Podem ser oriundos de várias fontes e quando relacionados a área da pavimentação, são classificados de acordo com sua natureza (natural, artificial e reciclado), seu tamanho (grauado, miúdo e material de enchimento) e sua distribuição de grãos/granulação (bem-grauada, aberta, uniforme e descontínua). (BERNUCCI *et al.*, 2008).

Os agregados escolhidos para determinadas utilizações deve apresentar propriedades de modo a suportar tensões impostas na superfície do pavimento e também em seu interior. O desempenho das partículas de agregado é dependente da maneira como são produzidas, mantidas unidas e das condições sob as quais vão atuar.

### 2.2.1 Tipos de agregados quanto à sua natureza

Portanto, o nível de desempenho em serviço de um determinado agregado depende de sua origem. É importante conhecer as informações sobre o tipo de rocha, sua composição mineralógica, composição química, granulação, grau de alteração, sua tendência à degradação etc.

Quanto à natureza, os agregados são classificados em: natural, artificial e reciclado.

#### *2.2.1.1 Agregado natural*

Abrange todas as fontes de ocorrência natural e são obtidos por processos convencionais de desmonte, escavação e dragagem em depósitos continentais, marinhos, estuários e rios.

Podem ser pedregulhos, britas, areias, seixos etc. Podendo ser empregados na pavimentação com tamanhos e formas que foram encontrado na natureza, ou podem passar por processamentos como a britagem (BERNUCCI *et al*, 2008).

Ainda segundo BERNUCCI *et al*. (2008), os agregados provenientes de rochas naturais pertencem a um de quatro tipos principais, que são ígneos, sedimentares, metamórficos ou areias e pedregulhos.

#### *2.2.1.2 Agregado artificial*

Resíduos provenientes de processos industriais, tais como a escória de alto-forno e de aciaria, ou fabricados especificamente com o objetivo de alto desempenho, como a argila calcinada (Cabral, 2005) e a argila expandida.

Podem apresentar problemas de expansibilidade e heterogeneidade, solicitando o tratamento adequado para utilização, no entanto podem apresentar alta resistência ao atrito.

#### *2.2.1.3 Agregado reciclado*

São provenientes de reuso de materiais diversos, como a reciclagem de revestimentos asfálticos existentes.

A utilização de agregados reciclados vem crescendo devido as restrições ambientais na exploração de agregados naturais e pelo desenvolvimento de novas técnicas de reciclagem

que possibilitam a produção de materiais reciclados dentro das especificações estabelecidas para a sua utilização.

### 2.2.2 Classificação dos agregados quanto ao tamanho

São classificados pela utilização por meio de uma análise por peneiramento, através de uma série de peneiras com aberturas de malha progressivamente menores, assim definindo a granulometria do agregado retida em cada peneira

Quanto ao tamanho dos agregados em misturas asfálticas para revestimentos pode prejudicar em várias formas. Assim tornando instáveis as misturas asfálticas, vindo a prejudicar a trabalhabilidade ou provocar segregação em misturas asfálticas com agregados de tamanho excessivamente grande. Quanto ao seu tamanho, os agregados podem ser classificados como:

**Agregados graúdos:** Tem dimensões do material encontrado é maior que 2,0mm, sendo assim retido na peneira de número 10 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2011; BERNUCCI *et al.*, 2008).

**Agregados miúdos:** Com dimensões menores que os graúdos (2mm) se classificam como materiais de dimensões maiores que 0,075mm. Consequentemente passando pela peneira de número 10 e ficando retido na de número 200 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2011; BERNUCCI *et al.*, 2008).

**Material de enchimento (fíler):** É o material onde pelo menos 65% das partículas é menor que 0,075mm, correspondente à peneira de número 200, e.g., cal hidratada, cimento Portland etc (Pavimentação asfáltica: Formação básica para engenheiros; BERNUCCI *et al.*, 2008).

## 2.3 Cimento Asfáltico de Petróleo – CAP

O Cimento asfáltico de petróleo (CAP) tem característica termoviscoelasticidade que desenvolvem no comportamento mecânico, sendo suscetível à velocidade, ao tempo e à intensidade de carregamento, e à temperatura de serviço. O comportamento

termoviscoelástico é mais frequentemente exposto do que o termoviscoplastico, com suficiente aproximação do real comportamento do material. Sendo um material quase totalmente solúvel em benzeno, tricloroetileno ou em bissulfeto de carbono (BERNUCCI *et al.*, 2008).

No mundo existem perto de 1.500 tipos de petróleo explorados, porém somente uma pequena porção deles é considerada apropriada para produzir asfalto (SHELL, 2003). O petróleo diferenciar-se pela maior ou menor presença na composição do asfalto.

No Brasil e em outros países são raras a produção de asfalto a partir de um único petróleo, sendo mais comum o refino que para a produção a partir da mistura de diversos petróleos (BERNUCCI *et al.*, 2008).

O CAP é constituído de 90 a 95% de hidrocarbonetos e de 5 a 10% de heteroátomos (oxigênio, enxofre, nitrogênio e metais – vanádio, níquel, ferro, magnésio e cálcio) unidos por ligações covalentes. Já os cimentos asfálticos de petróleos brasileiros têm baixo teor de enxofre e de metais, e alto teor de nitrogênio, enquanto os procedentes de petróleos árabes e venezuelanos têm alto teor de enxofre (Leite, 1999). Segundo Bernucci *et al.* (2008), o CAP representa de 25 a 40% do custo da construção do revestimento.

Através do Cimento Asfáltico de Petróleo é fabricado o Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ), sendo um revestimento flexível misturado a quente, em usina, composto por agregado graúdo, agregado miúdo, possivelmente um material de enchimento, como o fíler, e o ligante CAP. (BONET, 2002).

Para especificar uma determinada classe do asfalto como adequado para pavimentação, é realizado o ensaio de penetração e ensaios de viscosidade

O ensaio de penetração é obtido através da profundidade, em décimos de milímetro, que uma agulha de massa padronizada (100g) penetra numa amostra de volume padronizado de cimento asfáltico, por 5 segundos, à uma temperatura de 25°C. A cada realização do ensaio, três medidas individuais de penetração são realizadas, assim definindo a classe do asfalto por penetração.

De acordo com Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) a norma DNIT 031, (BRASIL, 2006), podem ser empregados os seguintes tipos de cimento asfáltico de petróleo: CAP-30/45, CAP-50/70 e CAP-85/100.

Já o ensaio viscosidade é uma medida da consistência do cimento asfáltico, por resistência ao escoamento.

**Figura 2** – Recapeamento asfáltico sendo executado com CBUQ



**Fonte:** Autor, 2020

**Figura 3 – Pavimento revestido em CAP**



**Fonte:** Autor, 2020

#### **2.4 Asfalto modificado por borracha de pneus inservíveis**

O Asfalto-borracha é obtido pela incorporação de mistura da borracha de pneus moída com ligante asfáltico em um reator com misturador a uma temperatura entre 150 e 200°C durante um período entre 20 a 120 minutos.

Embora o asfalto borracho tem valor cerca de 30% maior que o convencional, a adição do material de pneus ao pavimento pode até dobrar a vida útil da estrada, tendo melhor resistência à deformação permanente, resistência à fadiga e resistência de aderência, mediante

mudanças de temperatura. Ainda, reduz o ruído em alguns dBs causado pelo contato dos veículos com a estrada. Também reduzindo o armazenamento de pneus inservíveis.

Apesar do custo inicial da obra de implantação do asfalto borracha chega ser cerca de 66% mais elevado que o convencional, foi comprovado que na manutenção do pavimento asfalto-borracha pode haver economia de cerca de 12%, comparando-se a uma obra de pavimentação usando asfalto convencional (MASSON *et al.*, 2017).

#### 2.4.1 Uso da borracha na pavimentação no mundo

Na década de 40 tem início a história da incorporação da borracha de pneus reciclados em materiais para pavimentação asfáltica com a Companhia de Reciclagem de Borracha, U.S. *Rubber Reclaiming Company*, que adotou no mercado um produto chamado Ramflex<sup>TM</sup>, composto de material asfáltico e borracha desvulcanizada reciclada (ODA, 2000).

No ano de 1963 nos Estados Unidos, Charles H. McDonald considerado o pai do sistema asfalto-borracha, iniciou uma pesquisa com o intuito de desenvolver, com a inclusão da borracha moída, um material “altamente elástico” para ser aplicado na manutenção da superfície de pavimentos asfálticos. Assim resultando no desenvolvimento de um produto composto de ligante asfáltico e 25% de borracha de pneu moído, para ser utilizado em remendos, selante de trincas e camada de reforço. A sua primeira aplicação foi feita em uma rua na cidade de Phoenix, onde após seis anos, o pavimento não apresentava formações de trincas por reflexão (ODA, 2000).

Na década de 80, a adição de borracha de pneus usados em misturas asfálticas passou a ser uma alternativa excelente para diminuição dos problemas ambientais causados pela má disposição dos resíduos sólidos.

#### 2.4.2 Uso do asfalto borracha no Brasil

Os estudos sobre o asfalto borracha no Brasil, teve início na década de 90, o CENPES (Centro de Pesquisas da Petrobrás) e outras universidades começaram a desenvolver pesquisas voltadas à área de materiais asfálticos modificados por polímeros e borracha de pneus

inservíveis, com o objetivo de estudar o desempenho desses materiais. Os resultados alcançados foram publicados em teses de doutorado (LEITE, 1999; ODA, 2000).

Em agosto de 2001 foi inaugurado, o primeiro trecho pavimentado com asfalto borracha no Brasil. Com aproximadamente dois quilômetros, localizado entre Guaíba e Camaquã-RS, o trecho da BR-116, concessionado pela Univias, estabeleceu uma nova era para as estradas do país.

**Figura 4** - Pavimento revestido por asfalto borracha



**Fonte:** Romanelli, 2019

#### 2.4.3 Gerenciamento da reciclagem e reutilização de pneus inservíveis

No início do ano de 1999, com o Programa Nacional de Coleta e Destinação de Pneus Inservíveis implantado pela Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos (Anip), entidade que representa os fabricantes de pneus novos no Brasil. Com o passar dos anos, o



Programa foi sendo ampliado para todas as regiões do País com a alta destinação dos matérias os fabricantes decidiram criar uma entidade voltada exclusivamente para regulamentação, coleta e destinação dos pneus inservíveis, assim surgindo em 2007 a Reciclanip.

Criada por um grupo de fabricantes de pneus novos, com intuito de regular a coleta e destinação dos pneus inservíveis. Sendo considerada uma das maiores iniciativas da indústria brasileira na área de responsabilidade pós-consumo, também conhecida como logística reversa.

**Figura 5 – Ciclo do pneu até sua reciclagem na Reciclanip**



Segundo o Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama) de nº 416 de 30/09/2009 que trata sobre a degradação e prevenção ambiental causada por pneus inservíveis e sua destinação em ambientes adequados, controlar e disciplinar os pneus dispostos em locais inadequados, em ambientes com risco ao meio ambiente e saúde.

**Figura 6 – Reciclagem do pneu**



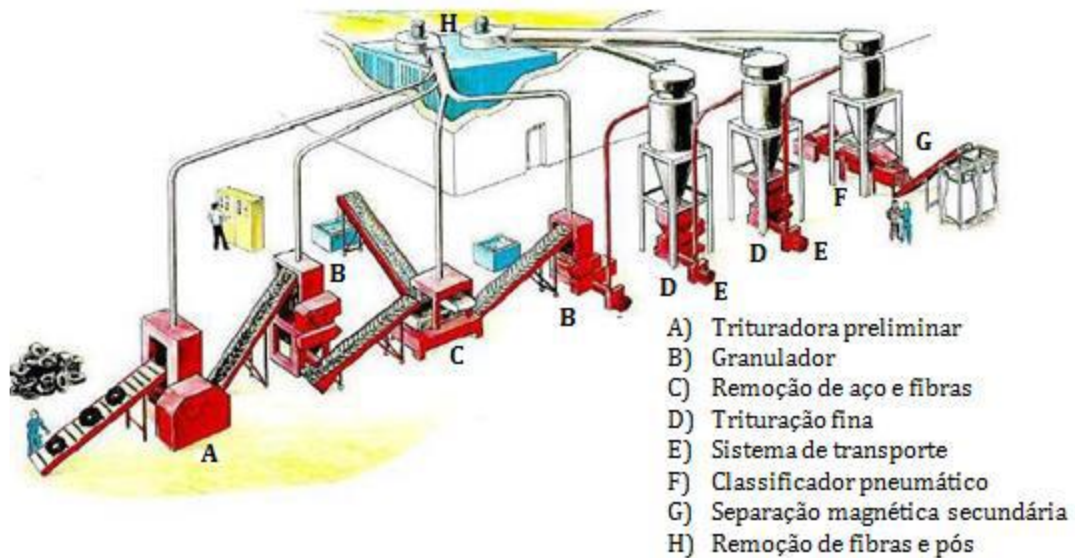
Fonte: Es Brasil, 2016

O ciclo de reciclagem de pneus inicia-se pela coleta, transporte, trituração e separação de seus componentes (borracha, aço e lona), transformando sucatas em matérias-primas que serão direcionadas a diversos mercados. Quanto menor a granulometria maior o custo envolvido e esse custo pode inviabilizar o desenvolvimento de alguns mercados potenciais (BERTOLLO; FERNANDES JÚNIOR; SCHALCH, 2002).

#### 2.4.4 Método de trituração dos pneus

Trituração a temperatura ambiente: Este método processa a trituração dos pneus em temperaturas comuns para obter partículas de borracha de forma irregular, com áreas relativamente grande. Apresenta trituração mecânica com lâminas cortantes rotativas, peneiras, cintas transportadoras e equipamentos magnéticos para retirar as fibras metálicas (ANTT – AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES, 2017).

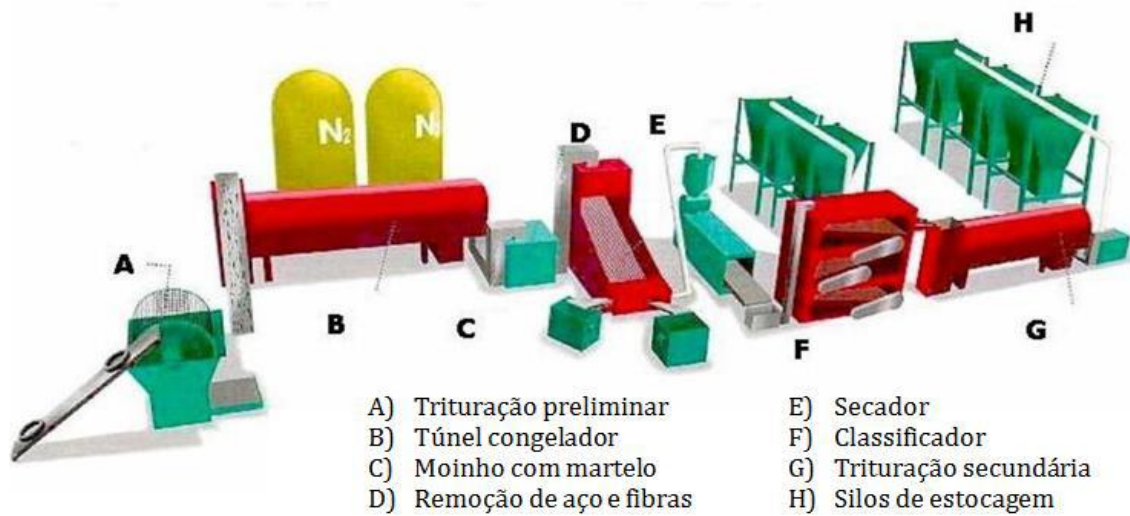
**Figura 7** – Sistema de trituração de pneus inservíveis em temperatura ambiente



Fonte: Reschner, (2008)

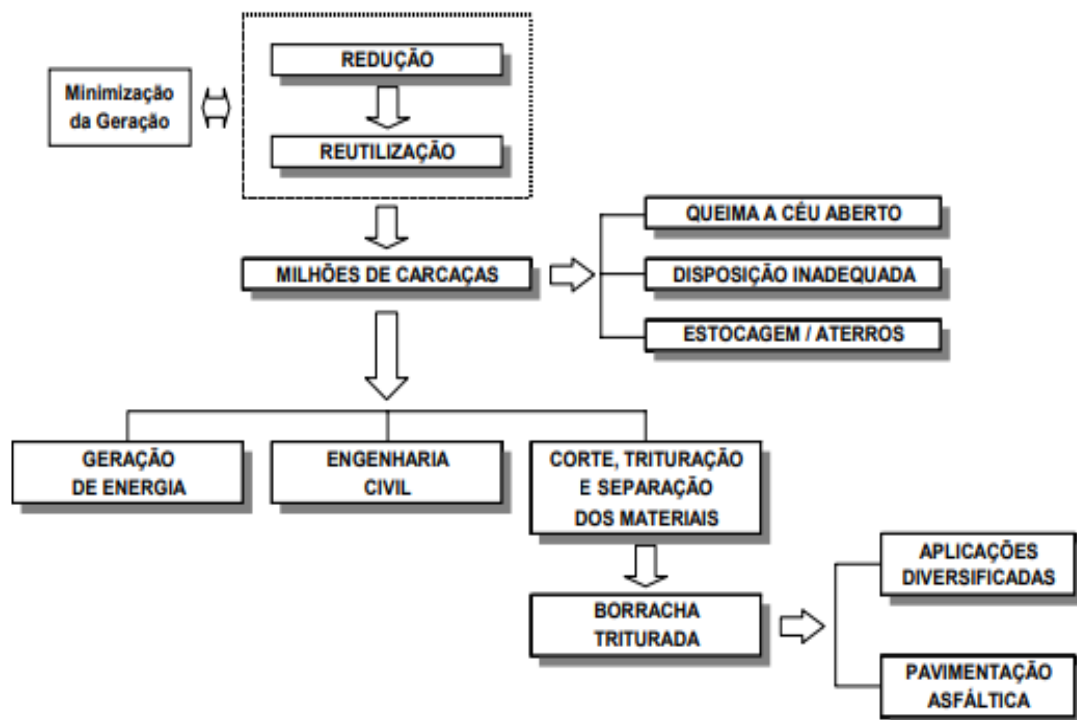
Processo de Trituração criogênica: utiliza-se nitrogênio líquido para congelar os pneus, até temperaturas que oscilam de  $-87^{\circ}\text{C}$  até  $-198^{\circ}\text{C}$ . Nessas temperaturas os pneus tornam-se quebradiços e facilitam a ação de um moinho no qual é acionado um martelo, conforme apresentado na imagem abaixo (AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES, 2017).

**Figura 8** – Sistema de trituração criogênica de pneus



Fonte: Reschner, (2008)

**Figura 9** – Destino final dos pneus inservíveis



Fonte: Bertollo, Fernandes Júnior e Schalch (2002)

#### 2.4.5 Processos de inclusão da borracha ao asfalto

Existem dois métodos de incorporação da borracha triturada de pneus às misturas asfálticas que são eles:

- Processo úmido (Ligante);
- Processo seco (Agregado).

#### 2.4.5.1 Processo por via úmida

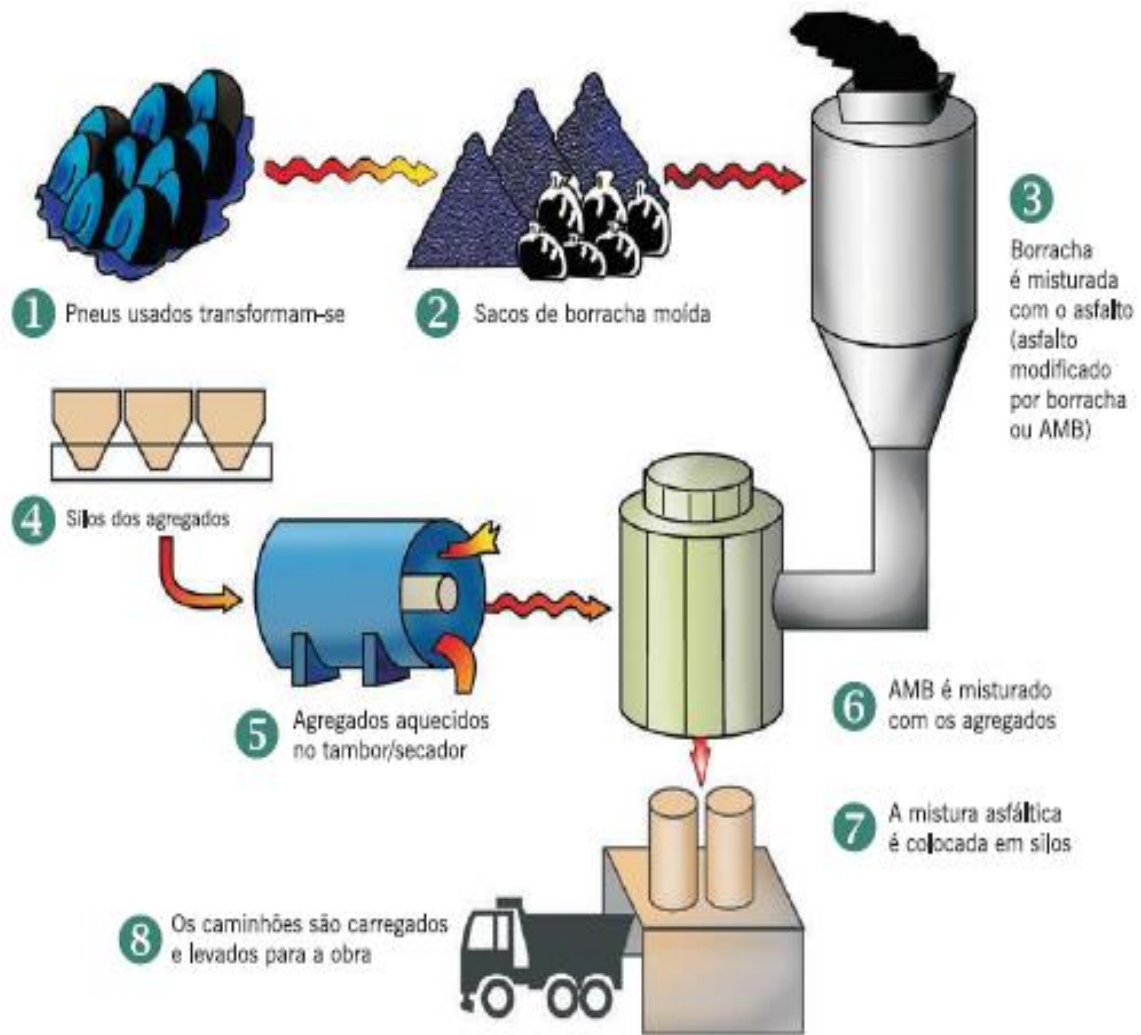
Nesse processo, a borracha finamente triturada é adicionada ao CAP aquecido, produzindo ligante modificado, no qual é chamado de asfalto-borracha. Sendo constituído de 15 a 20% de pó de pneus na massa de ligante ou menos que 1,5% da massa total da mistura. (BERNUCCI *et al.*, 2008).

O ligante modificado por via úmida, se divide em dois processos de fabricação, podendo ser estocável ou não-estocável. O sistema não-estocável também conhecido como *continuous blending ou justin-time* é produzido por equipamentos na própria obra, assim tendo sua aplicação imediata devido à sua instabilidade e, assim, apresenta algumas características diferentes do asfalto-borracha estocável. Já no processo estocável, é preparado a borracha moída em finíssimas partículas passando em peneira nº 40 e devidamente misturado em um terminal especial, produzindo um ligante estável e relativamente homogêneo, posteriormente transportado para cada obra. (BERTOLLO *et al.*, 2002; MORILHA JÚNIOR, 2004).

Segundo Bernucci *et al.* (2008) o asfalto-borracha estocável deve ser preparado em altas temperaturas por agitação em alto cisalhamento. Assim obtendo a despolimerização e a desvulcanização da borracha de pneu permitindo a reação da borracha desvulcanizada e despolimerizada com moléculas do CAP, o que resulta em menor viscosidade do produto final.

A figura abaixo demonstra todo esquema de fabricação do asfalto borracha por via úmida pelo processo estocável.

**Figura 10** - Esquema de fabricação do asfalto-borracha pelo processo de via úmida



**Fonte:** Bernucci *et al.* 2008

O processo estocável quando comparado com o sistema não estocável, tem uma maior economia de tempo e de custos sendo produzido e transportado para várias obras ao mesmo tempo, enquanto no outro sistema cada obra deve possuir um equipamento para a fabricação do asfalto-borracha. (BERTOLLO *et al.*, 2002; MORILHA JÚNIOR, 2004).

O preparo obtido imediato, conhecido como não-estocável ou *just-in-time*, conduz a um inchamento superficial da borracha nos maltenos do CAP assim permitindo o uso da borracha com maior tamanho de partícula e aumento da viscosidade. Neste caso não ocorre a despolimerização nem de vulcanização sendo feita a agitação em baixo cisalhamento. (BERNUCCI *et al.*, 2008).

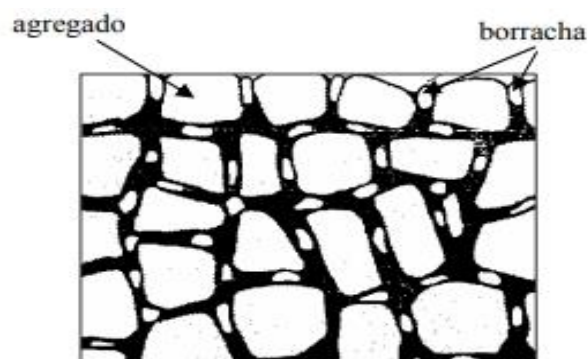
No Brasil vem sendo utilizado o processo úmido através da tecnologia *terminal blending*, no qual tem sua mistura efetuada em uma central e logo após é transportada até o seu local de aplicação. (SPECHT, 2004).

#### 2.4.5.2 Processo por via seca

Nesse processo, a borracha triturada entra como parte do agregado pétreo da mistura e juntamente com o ligante asfáltico dá origem ao produto “agregado-borracha” ou concreto asfáltico modificado com adição de borracha. A mistura modificada com adição de borracha via seca só deve ser utilizada em misturas asfálticas a quente, no caso o concreto asfáltico convencional ou com granulometria especial descontínua, este método não deve ser utilizado em misturas a frio (SPECHT, 2004; PATRIOTA, 2004; PINHEIRO, 2004).

Um dos processos a seco existente foi desenvolvido na Suécia e é chamado como *PlusRide*. Com tamanho de partículas de borracha entre 1,6 e 6,4 mm (KANDHAL, 1992; RPA, 1999).

**Figura 8** - Ilustração da mistura com partículas sólidas de borracha



**Fonte:** Takallou e Hicks, 1988

Esse processo tem como benefícios o seu custo de aplicação inicial é menor e não requer modificações e, usinas de asfalto. E apresenta uma redução acentuada no nível de ruído, tem maior resistência à fadiga e uma redução no trincamento térmico (DIAS, 2005).

Segundo Airey *et al*, (2004), a produção no processo via seca tem uma logística mais simples que o processo úmido, além de poder atingir uma margem de mercado maior, consumindo maiores quantidades de borracha, resultando em um maior benefício ambiental.

### 3 METODOLOGIA

Nesta monografia, analisou-se a viabilidade técnica e econômica sobre o uso do asfalto borracha, apresentando as definições sobre a estrutura dos pavimentos asfálticos flexíveis e suas camadas, passando por toda história do surgimento do asfalto borracha e suas características técnicas, seguindo pelo ciclo de reciclagem dos pneus irreversíveis até os processos de adição da borracha ao material asfáltico.

Esta revisão literária e identificação do estado da arte são essenciais em qualquer pesquisa, sendo assim fundamentada através de referências bibliográficas, consulta a normas, sites de empresas que já fornecem esse tipo de pavimento. Com os seguintes descritores pavimentação asfáltica, asfalto convencional e asfalto borracha.

Autores como Specht e Ceratti (2003) expõem em seu trabalho com objetivo de diminuir os custos e implementar novas modificações realizadas em ligantes asfálticos, e dar fim aos pneus inservíveis, surgiu o ligante modificado por borracha de pneus ou asfalto-borracha.

Tendo em vista a conscientização da sustentabilidade do meio ambiente, realizou-se um estudo sobre programas e normas sobre reciclagem de pneus inservíveis. Descrevendo todo o processo de reciclagem até a incorporação da borracha no setor de pavimentação, mais precisamente na camada de revestimento.



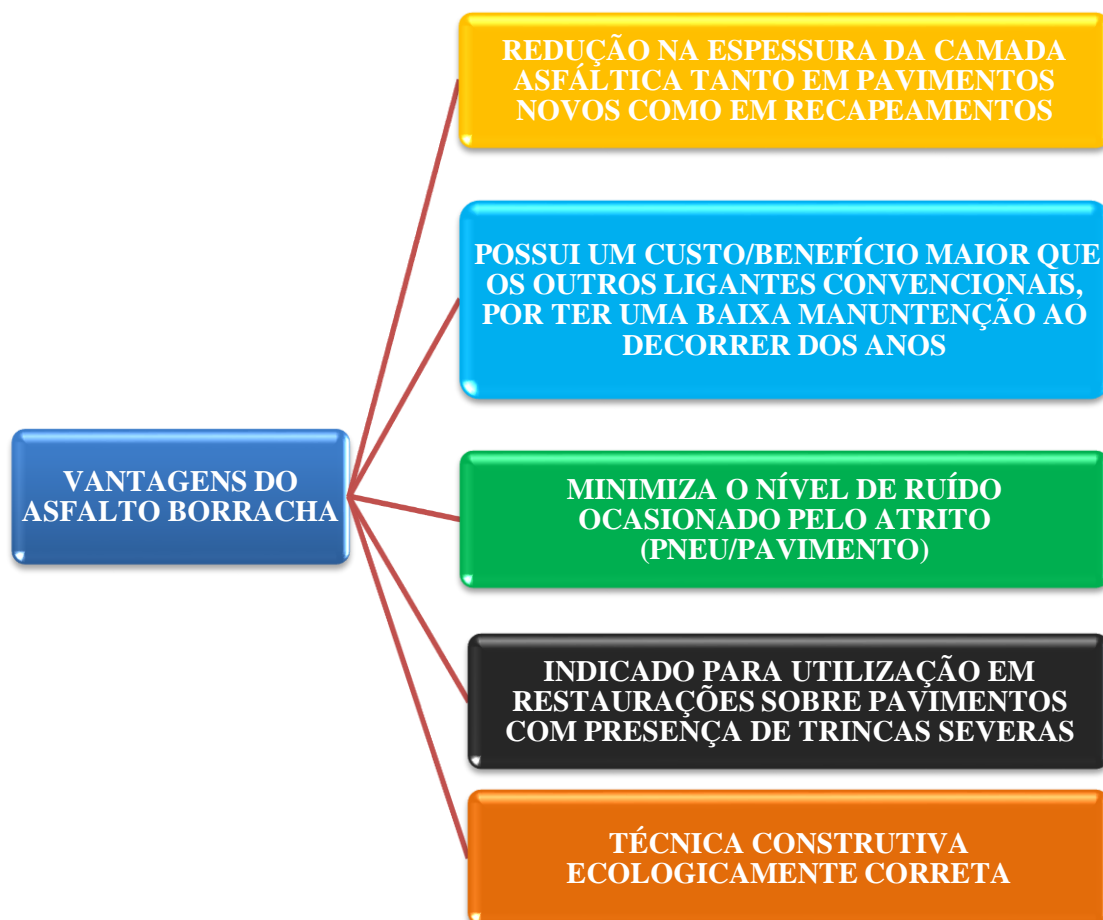
## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Viabilidade técnica

#### 4.1.1 Características técnicas do asfalto borracha

Como citado por Specht e Ceratti (2003) com o aumento do custo dos matérias asfálticos veio a surgir novos ligantes asfálticos modificados com o custo menores ao mercado, justamente a isto, dar fim aos pneus inservíveis, assim surgindo o ligante modificado por borracha de pneus ou asfalto borracha, que tem como as seguintes vantagens técnicas quando comparada aos outros ligantes convencionais.

**Figura 12** – Vantagens técnicas do asfalto borracha



Fonte: Adaptado de Specht e Ceratti, (2003)

Alguns dos impactos positivos no uso da borracha em misturas asfálticas está no meio ambiente, pois com a implantação do asfalto borracha na restauração de pavimento pode ser usado até mil pneus inservíveis por quilômetro, assim reduzindo o depósito desse material em aterros ou em lugares inadequados. (SPECHT, 2003).

Segundo Di Giulio (2007) o pavimento de asfalto borracha tem maior vida útil, além de maior redução ao envelhecimento precoce por oxidação do cimento asfáltico e às intempéries.

O uso do ligante asfalto-borracha proporciona mais resistente cia às variações de temperatura, tanto o desempenho em baixas ou altas temperaturas são melhores quando comparados com pavimentos com ligante asfáltico convencional. (HEIZTMAN, 1992, RUTH *et al.*, 1997)

#### 4.1.2 Características técnicas por via seca

Esse processo apresenta vantagens como a redução a marcante no nível de ruído podendo chega entre 50 a 80%, contribuindo na resistência a fadiga e na redução por trincamento termino. Além de consumir maiores quantidades de borracha de pneus inservíveis quando comparado com o processo úmido, resultando no maior benefício ambiental (DIAS, 2005).

Conforme dito por Zanzotto (1996), misturas asfálticas que incorporam borracha reciclada de pneus inservíveis pelo processo PlusRide apresentam as seguintes melhorias:

- Aumento da flexibilidade;
- Aumento da durabilidade;
- Melhor controle da propagação prematura de trincas;
- Diminuição das fissuras por fadiga;
- Melhor aderência dos veículos ao pavimento;

Embora esse processo ter menos benefícios quando comparado a técnica de via úmida, o seu custo inicial para aplicação do produto é reduzido, visto que neste processo não se faz necessário modificações nas usinas de asfalto. (SPECHT; CERATTI, 2003).

#### 4.1.3 Características técnicas por via úmida

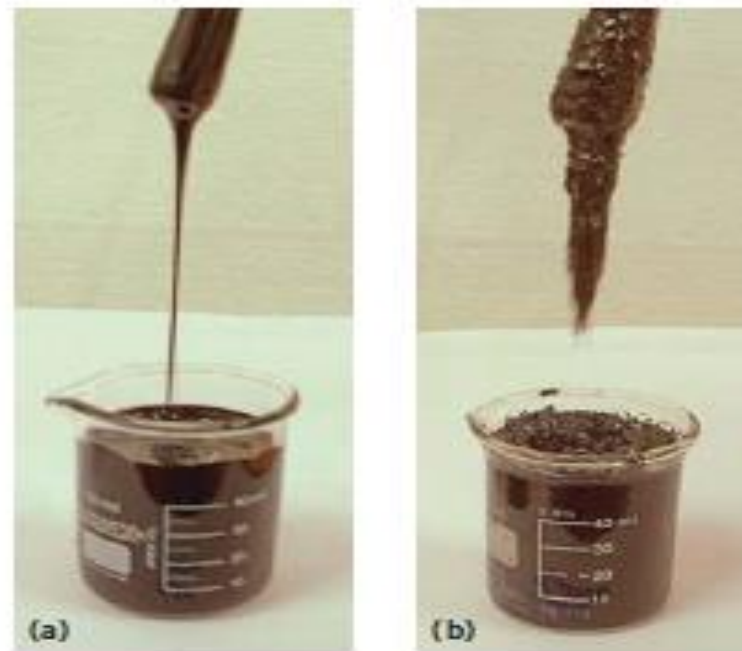
Segundo Specht e Ceratti (2003) neste processo as partículas de borracha aumentam muito em volume, absorvendo assim alguns óleos aromáticos contidos no ligante asfáltico, assim como são transferidos ao asfalto algumas características químicas das borrachas após sua vulcanização.

Este processo por sua vez, apresenta um ligante com propriedades superiores às do asfalto convencional, tais como maior resistência à oxidação pela luz solar, maior viscosidade, mais elasticidade, menor sensibilidade às alterações de temperaturas, maior resistências a fissuração e resistência ao envelhecimento.

#### 4.1.4 Comparação técnica entre o asfalto borracha e o asfalto convencional

Segundo Specht e Cerratti (2003) uma das principais características do asfalto borracha é que sua relação temperatura viscosidade não é linear. Sendo assim, ele é mais viscoso quando comparado ao ligante convencional, apesar disto, não perde a ductilidade e não se torna frágil a baixas temperaturas. Quando exposto a altas temperaturas não reduz tanto sua consistência quanto os cimentos convencionais.

**Figura 13** – Consistência maior do asfalto-borracha quando comparado ao asfalto convencional



(a) Asfalto convencional      (b) Asfalto borracha

**Fonte:** Bernucci *et al.* (2008)

A utilização do ligante asfalto-borracha em misturas asfálticas de graduação densa, em troca do ligante asfáltico convencional, reduz o acúmulo de deformação permanente nas trilhas de roda, trincas por fadiga e as trincas por contração de origem térmica (Takallou e Sinton, 1992).

Segundo Stephens (1982), Takallou e Hicks, (1988), McQuillen *et al.* (1988) misturas asfálticas com adição do ligante asfalto-borracha são mais flexíveis quanto as misturas asfálticas convencionais, por obter maior concentração de elastômeros na borracha de pneus.

A imagem abaixo mostra duas pistas do simulador de tráfego da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), a da esquerda, com asfalto Borracha após 123.356 ciclos de um eixo de 10 toneladas e a da direita, com asfalto convencional após 90.303 ciclos. Nota-se que a faixa com asfalto borracha apresenta uma única trinca enquanto a pista com asfalto CAP-20 se encontra completamente trincada Greca Asfaltos (2009).

**Figura 14** – Pistas após simulação de tráfego



**Fonte:** Greca Asfaltos, (2009)

Estudos realizados no Laboratório de Tecnologia de Pavimentação do Departamento de Engenharia de Transportes da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, sobre ensaios de deformação permanente em revestimentos asfálticos por meio do simulador *laboratoire central des ponts et chaussées* (LCPC). Onde duas placas foram submetidas ao simulador de tráfego. A placa da direita com asfalto borracha deformou 5% após 30.000 ciclos de simulação e a placa da esquerda revestida com ligante convencional deformou-se 13% após apenas 10.000 ciclos. Chegando a conclusão foi que a mistura com Asfalto Borracha mostrou-se menos suscetível à formação de trilhas de roda.

**Figura 15** – Placas após serem sujeitas ao simulador de tráfego



**Asfalto convencional**

**Asfalto borracha**

**Fonte:** Greca Asfaltos, (2009)

A adição de borracha faz com que o ponto de amolecimento do asfalto borracha aumente em relação ao do ligante convencional, assim obtendo um aumento da resistência ao acúmulo de deformações por trilhas de rodas (Salter e Mat, 1990),

Segundo Mazzoneto (2017), a durabilidade do asfalto borracha pode variar de acordo com o seu estado sobre a ação de agentes externos como a temperatura, clima da região e até mesmo a intensidade do tráfego. Há uma relação de que em rodovia com baixo tráfego, a pavimentação com asfalto borracha pode durar até 30 anos, sendo que outra rodovia com mesmas condições climáticas tendo alto tráfego de veículos pode durar 5 anos .

Como podemos notar através dos estudos apresentados, o desempenho técnico do ligante modificado por borracha é superior ao asfalto convencional, apresentando maior tempo para desenvolver trinca e deformações por trilha de rodas, assim gerando um maior tempo de vida útil do pavimento, com isso necessita de menos serviços de manutenção quando comparado a técnica contrastiva convencional.

#### **4.2 Variáveis de mistura asfalto borracha**

Como pode ser observado no quadro 1 abaixo, existem algumas variações de misturas do asfalto borracha encontradas na literatura utilizada sobre a técnica construtiva, sendo elas a temperatura, tempo, percentual de borracha e granulometria. A granulometria da borracha altera justamente o tempo e a temperatura utilizados, pois quanto mais fina a borracha, maior a área superficial e menor a temperatura e o tempo de mistura para se obter um material homogêneo (SPECHT; CERATTI, 2003).

**Quadro 1** – Variáveis intervenientes na mistura asfalto- borracha e valores encontrados na literatura

Referência	%Borracha Vulcaniz.	Tempo Mist.(min)	Temp. Mistura^
RRL/1962	5 - 15	30 a 60	160 - 180
Larsen H9&9	20	--	--
Salnton /1990	15 - 25	90	>200
Harvey /1992	18	--	--
Fager /1994	16 - 18	45 a 90	177
Nêwcbmb et al/1994	10 - 15 - 25	10 a 60	177 - 232
Page et al./1992	3,1 - 20,5	10 a 30	149 - 190
FHWA/USDOT Z199S	12 - 25	10 a 45	150-175
Bahia e Davles /1995	0-20	60	160+5
Fager /1996	13 - 16	45 a 90	200
Madapali et al. /1996	15	--	--
Maupín Jr. /1996	5-20	--	175 - 180
Troy et al/1996	10-20	--	170 - 185
Líarig e Lee /1996		120	190
ZanzoUo e Kennepiöl/1996	6 - 15	60 a 240	200 - 280
Gowda et al 1996	5 - 15	60	160
Epps H997	15	--	--
Takallou et al/1997	15-20	1,5	160 - 204
Brown et al 17/1997	6-10	35	171
oaly e Negulesco H997	0-25	49	170 240
Sousa et al17/1999	20	60	180
Oda e Fernandes Jr 72000	6-24	30	160-170
Way Z2ODQ	20	60	177

**Fonte:** Specht e Ceratti (2003)

De acordo com a *American Society for Testing and Materials* (ASTM) de 1997, a borracha empregada para modificação do ligante deve ter no máximo 0,75% de umidade, peso específico de  $1,15\text{g/cm}^3 \pm 0,05$  e possuir, no máximo, 0,01% de metais.

Com a inclusão da borracha ao cimento asfáltico, é atingido um aumento significativo na viscosidade do ligante modificado. A temperatura em que ocorre a reação de incorporação do asfalto e as partículas de borracha também influencia a viscosidade. Um ligante com viscosidade elevada produz misturas asfálticas de baixa trabalhabilidade e difícil compactação (EPPS, 1994 apud SALINI, 2000).

### 4.3 Viabilidade econômica

Na realização do estudo comparativo da viabilidade econômica dos pavimentos asfálticos, fez-se uma análise de um trecho com extensão de 2 km de uma rodovia hipotética no estado de Pernambuco de uma camada de concreto asfáltico com ligante CAP-50/70 de 5 cm de espessura.

Segundo Greca Asfaltos (2009) com base em estudos internacionais e nacionais pode ser aplicada uma redução de espessura da camada de revestimento do asfalto borracha de até 50% em relação ao asfalto convencional, com base nisso foi realizado nesse comparativo uma redução de 30% assim obtendo ao valor de 3,5 cm.

Ambos pavimentos foram adotados largura da pista 7 m, sem considerar o acostamento, com duas faixas com 3,5 m cada. Considerando uma densidade de 2,5 t/m<sup>3</sup>, como consta na tabela de dados abaixo.

**Quadro 2 – Dados dos revestimentos**

DADOS	TIPOS DE REVESTIMENTOS	
	CBUQ	ASFALTO BORRACHA
ESPESSURA DO PAVIMENTO	5 cm	3,5 cm
EXTENSÃO	2 km	2 km
LARGURA	7 m	7 m
DENSIDADE	2,5 t/m <sup>3</sup>	2,5 t/m <sup>3</sup>

**Fonte:** Autor, (2021)



No quadro abaixo foi calculado a quantidade de massa asfáltica onde foi necessário fazer a conversão das unidades para metros e posteriormente multiplicar esses valores, assim obtendo a quantidade em tonelada para cada tipo de revestimento.

**Quadro 3 – Quantidades de massa asfáltica**

TIPOS DE REVESTIMENTOS	
CBUQ	ASFALTO BORRACHA
2000m x 7m x 0,05m x 2,5 t/m <sup>3</sup> = 1750,00 toneladas de massa asfáltica de CBUQ	2000m x 7m x 0,035m x 2,5 t/m <sup>3</sup> = 1225,00 toneladas de massa asfáltica de asfalto borracha
<b>TOTAL: 1750,00 toneladas</b>	<b>TOTAL: 1225,00 toneladas</b>

Fonte: Autor, (2021)

Foram utilizados os dados da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) de agosto/2020 e de estudos da Greca Asfaltos 2009. No quadro abaixo consta os custo do asfalto borracha e do CAP 50/70 com base na ANP e o teor de ligante.

**Quadro 4 – Custos dos revestimentos**

PREÇOS DOS REVESTIMENTOS (R\$/TONELADA)	
CBUQ	ASFALTO BORRACHA
2.410,04	2.804,82
Teor de Ligante (%)	Teor de Ligante (%)
5,00	5,50

Fonte: ANP, (2020) e Greca Asfaltos, (2009)

**Quadro 5 – Custos de aplicação**

REVESTIMENTOS	(R\$/TONELADA)
CBUQ - CAP 50/70	200,00
ASFALTO BORRACHA	250,00

Fonte: Adaptado Greca Asfaltos, (2009)

Observa-se, portanto, um preço de execução de Asfalto Borracha em torno de 25% 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

O Quadro a seguir foi elaborado de acordo com um modelo encontrado no manual da Greca Asfaltos (2009), define o custo total da obra de cada revestimento para 2 km de extensão, de acordo com os dados obtidos acima.

**Quadro 6 – Descrições de Custos**

ITEM	DADOS	CALC	UND	TIPO DE ASFALTO	
				CAP 50/70	ASFALTO BORRACHA
1	Quantidade de massa asfáltica CBUQ	-	Ton.	1750,00	1225,00
2	Custo de Usinagem/Aplicação por tonelada de CBUQ aplicado	-	R\$/Ton	200,00	250,00
3	Quantidade de massa x Custo de Usinagem/Aplicação	1x2	R\$	350.000,00	306.250,00
4	Teor de Asfalto	-	%	5,00	5,50
5	Custo do Asfalto por Tonelada	-	R\$/Ton	2.410,04	2.804,82
6	Custo Asfalto no CBUQ	1x4x5	R\$	210.878,50	188.974,75
7	Custo Total da Obra	3+6	R\$	560.878,50	495.224,75

Fonte: Autor, (2021) e adaptado Greca Asfaltos, (2009)

Para se obter a porcentagem de redução de custo da utilização do revestimento asfalto borracha quando comparado ao asfalto convencional, utilizou-se a equação:

$$\text{Redução de Custo} = \frac{((\text{Custo total da obra CAP 50/70} - \text{Custo total da obra asfalto borracha}) \times 100)}{(\text{Custo total da obra CAP 50/70})}$$

$$\text{Redução de Custo} = \frac{((560.878,50 - 495.224,75) \times 100)}{(560.878,50)} = 11,71\%$$

Segue o quadro abaixo com os valores referentes à economia da implantação do asfalto borracha ao invés do CAP 50/70

**Quadro 7 – Redução de Custo**

<b>Redução de custo com a utilização do Asfalto Borracha</b>	<b>R\$</b>	<b>65.653,75</b>
	<b>%</b>	<b>11,71</b>

**Fonte:** Autor, (2021)

A utilização de revestimento com asfalto borracha permite uma redução no custo da obra de aproximadamente 11% quando comparado ao CAP 50/70, isso representa um valor de 65.653,75 reais a menos na execução. Em obras de maiores extensões, esse número se torna bastante expressivo.

De acordo com Greca Asfaltos (2009), as reduções de espessura do pavimento, chegando em torno 20% ou 25%, também permitirão uma redução importante no custo da obra. Assim reduzindo a quantidade de massa asfáltica a ser utilizada, irá conceder a diminuição do uso dos recursos naturais, como os agregados e o combustível que seria necessário para a usinagem e transporte dos matérias.

Segundo Zatarin *et al*, (2017), o custo de fabricação do pavimento de borracha tem seu valor elevado devido ao processo de fabricação que no seu revestimento é

Como citado anteriormente o asfalto borracha mostra-se mais resistente a trincas e trilhas de rodas quando comparado ao asfalto convencional, isso elevando a sua vida útil e diminuindo os intervalos de reparos e restauração do pavimento.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com os resultados obtidos através dos estudos encontrados, a implantação do asfalto borracha apresenta características técnicas viáveis quando comparada ao asfalto convencional, podemos destacar o seu maior índice de deformação, que contribui para que haja menos trilhas de roda e trincas no asfalto, aumentando a durabilidade e a qualidade das vias.

No ponto de vista econômico, a implantação do asfalto borracha é uma grande vantagem, mesmo com o valor de custo unitário por tonelada sendo maior que a técnica construtiva convencional, os valores finais obtido se mostram um valor consideravelmente mais econômico. Além disso, torna-se possível a redução da espessura da camada de revestimento, possui resistência elevada que acarreta no maior intervalo entre as manutenções devido sua durabilidade.

Com relação ao meio ambiente, o uso da borracha de pneus inservíveis em larga escala no pavimento asfalto, diminui efetivamente danos à natureza, e conseqüentemente aos seres humanos, pois é uma destinação correta ao que hoje é um grande problema, o descarte inadequado de pneus só vem aumentando com passar dos anos gerando impactos ambientais significativos.

Analisando os aspectos apresentados, pode-se concluir que a implantação do asfalto borracha é uma alternativa viável, que pode trazer inúmeros benefícios para população em geral e contribuindo para minimizar os danos antrópicos ao meio ambiente. Essa técnica construtiva só tende a crescer, assim como em outros países.

## REFERÊNCIAS

- Almeida, L.; Camargo, M.; Cunha, F.; Masson, T.; Miranda, L.; Munhoz Jr, A. Asfalto-Borracha: Incorporação de Pneus no Asfalto. In: SHEWC, 17, 2017, Vila Real, Portugal, **XVII Safety, Health and Environment World Congress**, Vila Real, SHEWC, 2017. p.67-68.
- AIREY, G. D.; RAHMAN, M. **Characterisation of dry process crumb rubber modified asphalt mixture**. University of Nottingham, Nottingham, 2004.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS: Standard test method for effect of heat and air on a moving film of asphalt (Roling Thin-Film Oven Test). Philadelphi, 1997.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9935**: Agregados – Terminologia. 3 ed. Rio de Janeiro, 2011.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11170**: Serviços de pavimentação – Terminologia. Rio de Janeiro, 1990.
- BALBO, José Tadeu. **Pavimentação asfáltica**: materiais, projetos e restauração. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.
- BERNUCCI, L.B.; MOTTA, L.M.G.; CERATTI, J.A.P.; SOARES, J.B. **Pavimentação Asfáltica**: Formação Básica para Engenheiros. Rio de Janeiro, Brasil: PETROBRÁS Asfaltos e ABEDA (Associação Brasileira das Empresas Distribuidoras de Asfaltos), 2006.
- BERTOLLO, Sandra A. et al. **Benefícios da incorporação de borracha de pneus em pavimentos asfálticos**. In: XXVIII Congreso Interamericano de Ingenieria Sanitaria y Ambiental, 2002, Cancún. Anais.. AIDIS/PEMISCA, 2002.
- BONET, Ivan I. **Valorização do Resíduo Areia de Fundação (RAF)**: Incorporação nas Massas Asfálticas do Tipo C.B.U.Q. 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.
- BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. **Manual de pavimentação**. 3 ed. Rio de Janeiro, 2006.
- CABRAL, G.L.L. **Metodologia de produção e emprego de agregados de argila calcinada para pavimentação**. 2005. Dissertação (Mestrado) – Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 2005.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). **Norma DNIT 031**: Pavimentos flexíveis – Concreto asfáltico – Especificação de serviço. Rio de Janeiro, p. 4. 2006.
- DI GIULIO, G. Vantagens ambientais e econômicas no uso de borracha em asfalto. **Inovação Unicamp**, Campinas, v. 3, n. 3, jun. 2007.

DIAS, Márcia Rodrigues. **Utilização de mistura asfáltica com borracha pelo processo da via-seca execução de um trecho experimental urbano em Porto Alegre-RS.** 2005. Dissertação (Pós-Graduação) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

EPPS, J. A. **Uses of recycled rubber tires In highways. National Cooperativa Highway Research Program.** Synthesis of Highway Practice 198. Transportation Research Board, Washington, 1994.

GRECA ASFALTOS. **Linha ECOFLEXPAVE.** 2009. Disponível em: [https://www.grecaasfaltos.com.br/wp-content/conteudos/publicacoes-greca/estudo-ecoflex\\_pesquisas-avaliacao-economica-financeira-apelo-ecologico-asfalto-ecologico.pdf](https://www.grecaasfaltos.com.br/wp-content/conteudos/publicacoes-greca/estudo-ecoflex_pesquisas-avaliacao-economica-financeira-apelo-ecologico-asfalto-ecologico.pdf) Acesso em: 24 de maio 2021.

HEITZMAN, M. Design and construction of asphalt paving materials with crumb rubber modifier. **Transp. Res. Rec.**, TRB, Washington, DC, n.1339, 1992.

LEITE, L. F. M. **Estudo de preparo e caracterização de asfaltos modificados por polímeros.** 1999. Tese (Doutorado em Ciências) – Instituto de Macromoléculas. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1999.

McQUILLEN, JR.; J.L. *et al.* Economic analysis of rubber modified asphalt mixes. **J. Transp. Eng.**, Reston, v.114, n.3, 1988.

MORILHA JR. A. **Estudo sobre a ação de modificadores no envelhecimento dos ligantes asfálticos e nas propriedades mecânicas e de fadiga das misturas asfálticas.** 2004. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

KANDHAL, P. S. **Moisture susceptibility of HMA mixes: identification of the problem and recommended solution.** NCAT - National Center for Asphalt Technology. 1992.

ODA, S. **Análise da Viabilidade Técnica da Utilização do Ligante Asfalto Borracha em Obras de Pavimentação.** 2000. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 2000.

PATRIOTA, M.B. **Análise laboratorial de concreto betuminoso usinado a quente modificado com adição de borracha reciclada de pneus – processo seco.** 2004.. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2004.

PINHEIRO, J.H.M. **Incorporação de borracha moída de pneus em misturas asfálticas de diferentes granulometrias (processos úmido e seco).** 2004. Dissertação (Mestrado) – Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2004.

PORTER, O.J. Development of the original method for highway design. Development of CBR flexible pavement design method for airfields. **Transactions of American Society of Civil Engineers**, New York, v. 115, p. 461-7, 1950.

RECICLANIP. **Responsabilidade pós consumo.** 2021. Disponível em: <http://www.reciclanip.org.br/quem-somos/institucional/>. Acesso em: 05 abr. 2021.

RESCHNER, K. (2008). **Scrap tire recycling: A summary of prevalent disposal and recycling methods.** Disponível em: [http://www.entire-engineering.de/Scrap\\_Tire\\_Recycling.pdf/](http://www.entire-engineering.de/Scrap_Tire_Recycling.pdf/) Acesso em: 24 abr. 2021.

ROMANELLI. **Asfalto borracha na pavimentação de rodovias.** 2019. Disponível em: <https://www.romanelli.com.br/pt/noticias/asfalto-borracha-na-pavimentacao-de-rodovias> Acesso em: 3 abr. 2021.

RUTH B.E. *et al.* **Recycling of asphalt mixtures containing crumb rubber.** Final Report. FL/DOT/MO D510717. Florida: University of Florida. Florida Department of Transportation, 1997.

SALINI, R. B. **Utilização de Borracha Reciclada de Pneus em Misturas Asfálticas.** 2000. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

SALTER, R.J.; MAT, J. Some effects of rubber additives on asphalt mixes. **Transp. Res. Rec.**, Washington, D.C., n.1269, 1990.

SENÇO, Wlastermiler. **Manual de Técnicas de Pavimentação.** 2 ed. São Paulo: Pini, 2007.

SHELL. **The Shell bitumen handbook.** 5 ed. London: Shell Bitumen/Thomas Telford Publishing, 2003.

SPECHT, L. P. **Avaliação de misturas asfálticas com incorporação de borracha reciclada de pneus.** Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

SPECHT, Luciano Pivoto; CERATTI, Jorge A. Pereira. Asfalto-borracha e borracha-agregado: Possibilidades de utilização de borracha reciclada em misturas asfálticas. **Revista Estradas do DAER**, Porto Alegre, ano 2, nº 4, p. 18-26, julho. 2003.

STEPHENS, J.E. Field evaluation of rubber-modified bituminous concrete. **Transp. Res. Rec.**, Washington, D.C., n.843, 1982.

TAKALLOU, B. H.; HICKS, R. G. Development of improvement mix and construction guidelines for rubber-modified asphalt pavements. **Transp. Res. Rec.** Washington, n. 1171, 1988.

ZATARIN, A. P. M.; SILVA, A. L. F.; ANEMAM, L. S.; *et al.* Viabilidade da pavimentação com asfalto-borracha. **Revista Gestão e Sustentabilidade ambiental**, v. 5, n. 2, p. 649-674, 2017.

ZANZOTTO, Ludo; SVEC, Otto. **Utilization of Recycled Tire Rubber in Asphalt Pavement.** Ottawa: Transportation Association of Canada, 1996.