



CENTRO UNIVERSITÁRIO UNIFACIG

TRATAMENTOS SUPERFICIAIS COM ASFALTO BORRACHA

Gabriel Raimundo de Souza

Manhuaçu-MG

2019



GABRIEL RAIMUNDO DE SOUZA

TRATAMENTOS SUPERFICIAIS COM ASFALTO BORRACHA

Trabalho de conclusão de curso
apresentado à disciplina de
Engenharia Civil da UNIFACIG como
parte dos requisitos necessários para
obtenção do grau de Bacharel.

Área de Concentração: Estradas e
pavimentações

Orientador(a): Leandro José Lima

Manhuaçu- MG

2019



TRATAMENTOS SUPERFICIAIS COM ASFALTO BORRACHA

Gabriel Raimundo de Souza

Leandro José Lima

Curso: Engenharia Civil Período: 10º Área de Pesquisa: Estradas e Pavimentações

Resumo: O sistema rodoviário movimenta grande parte da economia mundial e é o mais utilizado devido a sua facilidade de acesso, gerando a necessidade de pavimentações com boa qualidade de rolamento, conforto, menos ruídos e mais segurança, o que não é o caso dos pavimentos de grande maioria das estradas Brasileiras. Para atender a grande demanda de veículos é necessário buscar formas sustentáveis de construção que resistam aos esforços do tráfego, com menos paralizações para manutenções, para que as atividades do dia a dia sejam realizadas sem atrasos e perda econômica. O presente trabalho tem como objetivo apresentar a viabilidade econômica e ambiental na utilização de uma tecnologia construtiva sustentável na área de estradas e pavimentações conhecida como asfalto borracha, apresentando modificações positivas nas propriedades da massa asfáltica.

Palavras-chave: Asfalto, Borracha, Pneus, Sustentabilidade, Pavimentação.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	4
2. DESENVOLVIMENTO	4
2.1. Breve Histórico do asfalto borracha	4
2.2. Legislação	5
2.3. Solução para o descarte inadequado de pneus inservíveis	6
2.4. Composição do asfalto borracha	7
2.5. Processos de mistura e preparação	9
2.6. Pavimentação	10
2.7. Patologia nas pavimentações	11
2.7.1 Corrugações	11
2.7.2 Afundamentos	12
2.7.3 Exsudação de Asfalto	13
2.7.4 Desgaste	13
2.7.5 Escorregamento do revestimento betuminoso	14
2.7.6 Trincas e Fissuras (Fendas)	14
2.7.7 Panelas	16
2.8. Vantagens e desvantagens do asfalto borracha, um comparativo com o asfalto convencional	16
3.0. METODOLOGIA	18
4.0. RESULTADOS E DISCUSSÕES	18
4.1. Comparativo de custo de uma estrada utilizando Asfalto Borracha e Asfalto Convencional (Estudo de caso)	18
5.0. CONCLUSÃO	21
6.0. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	22

1. INTRODUÇÃO

O setor do transporte rodoviário é o mais utilizado no mundo, devido a sua facilidade de acesso e locomoção, por ele, todos os dias são levadas as mercadorias e pessoas pelos vários meios de transportes terrestres, movimentando grande parte da economia dos países. Com isso, surge a necessidade de investir em estradas e pavimentações, com boa resistência, para suportar os danos causados pelo excesso de peso e movimentação nas rodovias e também as intempéries dos climas.

Uma das opções de pavimentação que vem sendo utilizada pelas grandes potências e agora também se espalhando pelo mundo é o Asfalto borracha, que tem como matéria prima essencial, fragmentos de pneus inservíveis, que são coletados tanto na natureza ou nos pontos específicos de coleta, passando pela trituração e moagem sendo utilizados na massa asfáltica.

Com o crescimento do consumo de automóveis, milhares de pneus são jogados no meio ambiente, causando prejuízos na saúde humana e ambiental. O asfalto borracha se baseia na sustentabilidade, sendo uma técnica construtiva ecologicamente correta, e além disso com o uso da borracha na massa, o ligante asfáltico apresenta modificações nas propriedades, tornando-se um material mais viscoso e resistente.

O trabalho tem como objetivo mostrar que a utilização dessa técnica construtiva pode ser viável economicamente e ambientalmente comparada ao asfalto convencional.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1. Breve histórico do Asfalto borracha

Ao longo dos anos na tentativa sanar as patologias apresentadas pelos asfaltos existentes no início do século XX, engenheiros e químicos realizavam experimentos adicionando borracha natural (látex) e borracha sintética (polímeros) na massa asfáltica, observando que a borracha aumentava a sua propriedade elástica, que era excelente para resistência do asfalto. Depois de uma série de estudos, em meados da década de 40, a companhia de reciclagem de borracha, U.S Rubber Reclaiming Company lançou no mercado um produto chamado Ramflex™ que consiste num material asfáltico ligante com adição de borracha desvulcanizada reciclada (ODA; FERNANDES JÚNIOR, 2001).

Apenas em 1963, também nos Estados Unidos, a empresa Sahuaro Petroleum, através do considerado pai do sistema asfalto borracha (Asphalt-Rubber) Charles H. McDonalds, iniciou uma pesquisa com adição de borracha moída. O resultado foi bem satisfatório, gerando uma massa altamente elástica denominada “band-aid” que poderia ser aplicada na superfície dos pavimentos asfálticos, como selante de trincas e em camadas de reforço, (ODA; FERNANDES JÚNIOR, 2001).

O registro da sua primeira utilização foi em Phoenix, capital do estado norte-americano, Arizona:

Se pôde verificar que, após seis anos, o pavimento não apresentava a formação de trincas por reflexão. McDonald continuou seu trabalho experimental na cidade de Phoenix, juntamente com a empresa Atlos Rubber Inc., onde foram construídos trechos no Phoenix Sky Harbor International Airport, em 1966, (ODA; FERNANDES JÚNIOR, 2001, p.1592).

Segundo Oda e Fernandes Júnior (2001), até o começo dos anos 90, 16.000 km de asfalto-borracha já teriam sido aplicados em rodovias. De acordo com Cordeiro; Pinto (2018), no Brasil as primeiras pesquisas começaram por Lima (1985), Leite (1999) e Oda (2000), dando início aos experimentos no início do século XXI em agosto de 2001 na BR-116 no Rio Grande do Sul, Segundo Bernucci *et al.* (2008). “Atualmente no Brasil já se conta em torno de 8 mil Km de rodovias pavimentadas que utilizaram direta ou indiretamente asfalto-borracha” (CORDEIRO; PINTO, 2018).

A figura abaixo mostra a primeiro trabalho realizado com o asfalto borracha no Brasil.

Figura 01: Primeira aplicação experimental do asfalto borracha no Brasil.



Fonte: Disponível em <<http://www.asfaltoborracha.com.br/>>, 2019.

2.2 Legislação

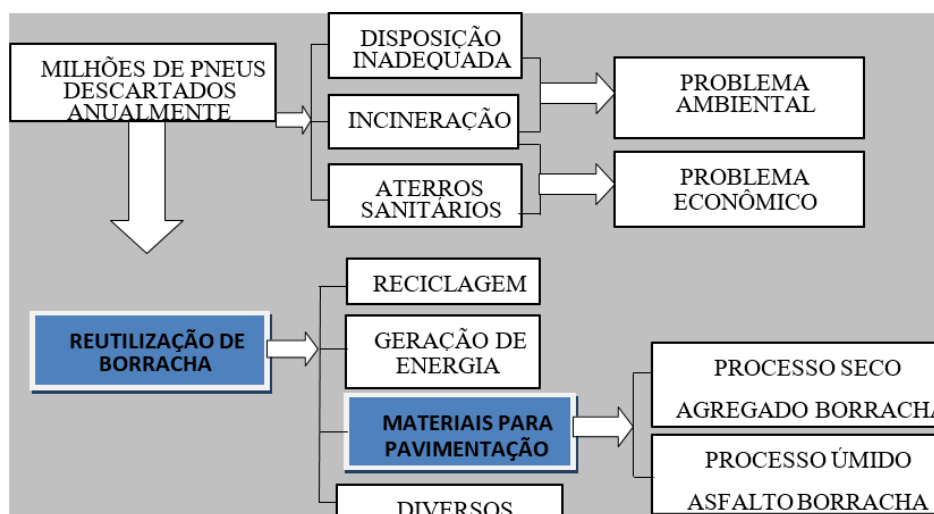
De acordo com Oda e Fernandes Júnior (2001), por volta da década de 80, os estudiosos reconheceram que a utilização da borracha de pneus inservíveis na massa asfáltica era uma excelente solução para os problemas ambientais causados pelos resíduos sólidos, porém, apenas em 1991, foi sancionada uma lei que tratava rigorosamente essa questão:

A Lei sobre a Eficiência do Transporte Intermodal de Superfície (Section 1038 - Intermodal Surface Transportation Efficiency Act - Public Law 102-240), que obrigava os Departamentos de Transportes e de Proteção Ambiental a desenvolverem estudos para utilizar borracha de pneus descartados em materiais para pavimentação.

No Brasil no dia 26 de agosto de 1999 foi imposta na resolução Nº258/99 pelo CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente), que trata a questão de descarte inadequado da seguinte forma, “Determina que as empresas fabricantes e as importadoras de pneumáticos ficam obrigadas a coletar e dar destinação final ambientalmente adequada aos pneus inservíveis”. Dessa maneira, abrem-se as portas para uma série de etapas para a transformação desse material para o uso, desde a coleta até à trituração e moagem, para depois ser aplicado na massa asfáltica.

A figura abaixo mostra como geralmente são destinados os pneus inservíveis.

Figura 02: Pneus descartados anualmente.



Fonte: Oda e Fernandes Júnior, 2001.

2.3 Solução para o descarte inadequado de pneus inservíveis

Além de apresentar uma tecnologia de ligante asfáltico de qualidade, o asfalto borracha impõe um grande papel na área da sustentabilidade, combatendo um dos maiores problemas ambientais do planeta, que é o descarte incorreto de pneus inservíveis no meio ambiente. Na sua utilização, por exemplo, para se fazer 1 km de asfalto numa pista de 7 metros de largura com espessura de 5cm, são gastos cerca de 1000 pneus em sua composição, (GRECA ASFALTOS, 2019).

Segundo o site Dinâmica Ambiental (2017), um pneu leva aproximadamente 600 anos para se decompor no meio ambiente e com isso ao passar dos anos acarreta vários riscos à saúde humana e ambiental. Em relação à sua produção, só no Brasil é equivalente à 40 milhões por ano e a geração de pneus velhos é 4 vezes maior, ou seja, 160 milhões no mesmo período de tempo. Além de ser um perigo para o meio ambiente, sua fabricação leva grandes quantidades de recursos naturais, como por exemplo, borracha natural, aço e petróleo. Segundo Ruth *et al.* (1997), “os pneus aproximadamente, são compostos por 30% (em peso) de aço, 20 a 26% de borracha sintética e 21 a 33% de borracha natural. Geralmente um pneu com cerca de 9 kg fornece entre 4,5 a 5,5 kg de borracha”.

A tabela abaixo mostra os materiais encontrados na fabricação dos pneus.

Tabela 01: Composição de pneus de automóveis e caminhões.

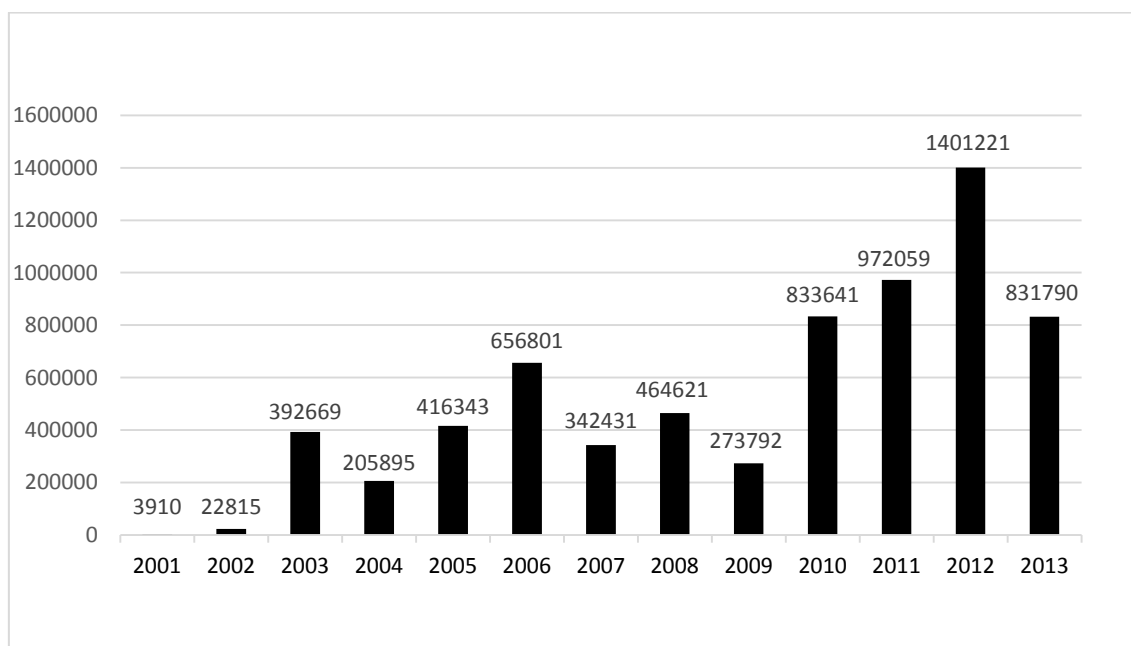
Componentes %	Banda de Rodagem		Pneus Inteiros	
	Automóvel	Caminhão	Automóvel	Caminhão
Negro de fumo	32,0	30,0	31,0	28,5
Borracha Sintética	37,0	23,0	26,0	21,0
Borracha natural	5,0	27,0	20,0	33,0
Solúvel em acetona	21,0	16,0	19,0	12,5
Sílica	5,0	4,0	5,0	5,0

Fonte: Heitzman, 1992.

A boa notícia, é que os pneus podem ser reaproveitados de diversas formas, o difícil é o seu retorno nas mãos corretas. Para isso, tem-se a (PNRS) Política Nacional de Resíduos Sólidos, lei nº 12305/2010 Art.33 que tem como objetivo gerenciar o processo de descarte, retornando esses pneus para as indústrias através da logística reversa, (DINAMICA AMBIENTAL, 2017). Pensando nisso, a empresa Reciclanip criada em 2007 pela anip, umas das maiores entidades responsáveis pela prática da logística reversa no Brasil, em contato com os fabricantes de pneus, conseguiram evitar que mais de 3,7 milhões de toneladas de pneus tivessem seu descarte final inadequado.

A empresa Greca Asfaltos já está há mais de 10 anos no mercado de pavimentação, pioneira na utilização do asfalto borracha no Brasil, chamado de ECOFLEX, só no ano de 2012, utilizou mais de 1.400.000 de pneus nas suas obras, causando grande impacto na retirada desses materiais do meio ambiente (GRECA ASFALTOS, 2013 apud ZATARIN *et al.*, 2017). Segundo os dados fornecidos pela empresa Greca Asfaltos, até o ano de 2019 já foram reutilizados mais de 10 milhões de unidades de pneus inservíveis, conforme o gráfico abaixo pode-se observar a quantidade de pneus utilizados pela empresa:

Gráfico 01: Total de pneus Utilizados na fabricação de Asfalto Borracha pela Greca Asfaltos de 2001 até 2013.



Fonte: Greca Asfalto: Contabilidade ecológica – Asfalto Borracha, 2013.

2.4 Composição do asfalto borracha

Na composição do asfalto borracha são utilizados praticamente dois materiais, sendo eles o cimento asfáltico e a borracha moída. Como forma de melhora da compatibilização entre eles é usado um óleo extensor de borracha, pois na maioria das vezes esses dois materiais não são compatíveis e para melhor trabalhabilidade é adicionado um diluente como por exemplo o querosene, que reduzirá a sua viscosidade na hora da aplicação (FAXINA, 2002). Em alguns de asfaltos modificados, também são utilizados aditivos na composição.

O cimento asfáltico de petróleo (CAP), segundo a Betunel empresa de tecnologia em asfaltos, nada mais é do que:

Um líquido viscoso, semi-sólido ou sólido, a temperatura ambiente, que apresenta comportamento termoplástico, tornando-se líquido se aquecido e retornando ao estado original após resfriamento. Obtido através de diversos processos de destilação do petróleo, ele é quase totalmente solúvel em benzeno, tricloroetileno e em bissulfeto de carbono. De acordo com a resolução da ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás e Biocombustíveis nº19 de 11/06/2005, contendo regulamento técnico nº3 de 2005, os asfaltos para pavimentação voltaram a ser classificados por penetração: CAP 30/45, CAP 50/70, CAP 85/100, CAP 150/200.

A borracha antes de ser adicionada ao CAP passa por uma série de etapas, uma delas é a moagem, segundo Faxina (2002), existem quatro tipos de métodos de trituração para pneus, são eles crackermill, granulator, micromill e o cryogenic, sendo que cada um deles produzem partículas com características diferentes:

O processo “Crackermill” é, atualmente, o mais comum para a produção de borracha moída e fornece partículas de formato irregular com grande área superficial, cujo tamanho varia de 4,8 a 0,42 mm. O processo “granulator” gera partículas de forma cúbica e uniforme com uma pequena área superficial, com tamanho variando de 9,5 a 2,0 mm. E o processo “micromill” fornece partículas finas, com tamanho variando de 0,42 a 0,075 mm. O processo “Cryogenic” consiste na imersão da borracha em nitrogênio líquido (-90 a -200°C). Abaixo de -60°C a borracha se torna um material bastante frágil, facilitando sua trituração, (FAXINA, 2002).

Segundo (West *et al.* 1998 Apud Faxina 2002), o processo de trituração tem influência nas características do ligante asfáltico, pois tem efeito nas formas, texturas e propriedades físicas da borracha, por exemplo, partículas com maior área superficial apresentam maior viscosidade. Após o processo de trituração a borracha é separada e são retirados os restos dos materiais componentes do pneus, como o aço e as fibras. Segundo Heitzman (1992) apud Faxina (2002), “Um pneu pesando aproximadamente 9 kg produzirá de 4,5 a 5,5 kg de borracha”.

A figura abaixo apresenta alguns dos processos de preparação do pneu para sua utilização na massa asfáltica.

Figura 03: Processo de trituração e moagem de pneu.



Fonte: Disponível em <<http://usoderesiduosdepneusnoconcreto.blogspot.com/>>, 2019.

2.5 Processos de mistura e preparação

De acordo com Wickboldt (2005), para a adição da borracha de pneus em misturas asfálticas os processos são realizados da seguinte maneira:

Via Seca: a borracha é introduzida diretamente no misturador da usina de asfalto. Neste caso a borracha entra como um agregado na mistura. A transferência de propriedades importantes da borracha ao ligante é prejudicada, embora seja possível agregar melhorias à mistura asfáltica, desde que na sua fabricação seja possível obter uma mistura homogênea. No processo seco, os grânulos da borracha representam de 0,5 a 3,0% da massa do agregado.

Via Úmida: a borracha é previamente misturada ao ligante, modificando-o permanentemente. Nesta modalidade ocorre a transferência mais efetiva das características de elasticidade e resistência ao envelhecimento para o ligante asfáltico original. No processo úmido o pó de pneu representa aproximadamente 15% da massa do ligante ou menos que 1,5% da massa da mistura.

Segundo a tabela abaixo, os processos de fabricação do asfalto borracha se apresentam das seguintes formas:

Tabela 02: Processos de misturas com adição de borracha.

Processo úmido (Asfalto Borracha)	Processo seco (Agregado Borracha)
(Cimento asfáltico + Borracha)	Cimento asfáltico
+	+
Agregado Pétreo	(Borracha + Agregado Pétreo)

Fonte: Prof. José Leomar Fernandes Júnior, Departamento de transportes.

A preparação do asfalto borracha é conhecida como *just in time*, pois deve ser utilizada na hora, não permitindo sua estocagem, devido a separação do material ligante e da borracha. No Brasil é utilizado o processo úmido “*blending*”, onde o ligante é fabricado numa central e transportado até o local de utilização. A aplicação é praticamente a mesma do asfalto convencional, mudando apenas os equipamentos, bombas e canalizações, que devem possuir maiores dimensões devida a sua alta viscosidade e como forma de proteção térmica, (SPECHT, 2004).

A figura abaixo mostra como é inserida a borracha moída no processo mais utilizado, o processo úmido.

Figura 04: Incorporação de Borracha moída de pneu.



Fonte: SINICESP, 2013.

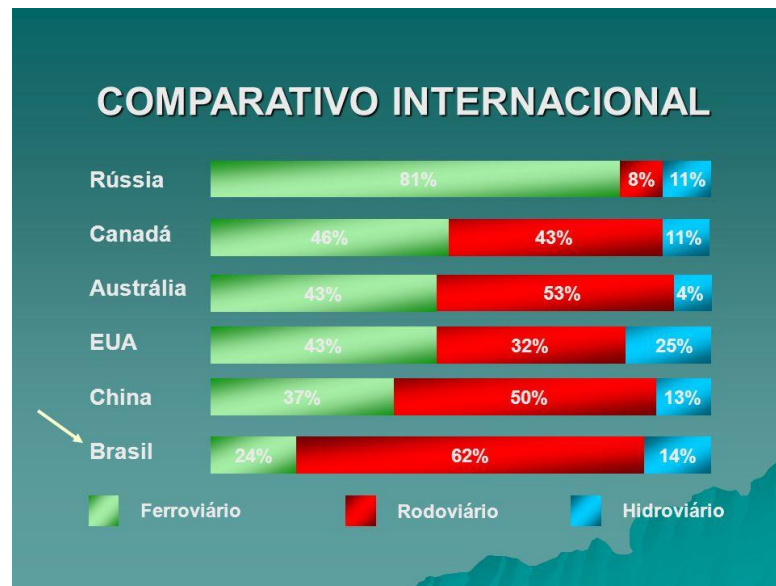
2.6 Pavimentação

Ao longo da história da humanidade, o homem sempre criou rotas para facilitar sua locomoção, abrindo caminhos para novos lugares, terrenos propícios para o plantio e criação de animais, principalmente quando começaram os primeiros comércios, onde era necessário boas estradas para o transporte adequado dos materiais comercializados. Ao passar dos anos com as novas tecnologias, foi criada a pavimentação, que foi uma ótima solução para os problemas das estradas de chão.

Entendemos por pavimentação, um revestimento sobre o piso ou chão com base horizontal com uma ou mais camadas sobrepostas, como por exemplo, os calçamentos, pisos interiores, asfaltos, etc, garantindo mais conforto, rolamento e durabilidade. O pavimento, deve ser executado sempre visando a sua utilização, o fluxo esperado, clima entre outras ações como impactos e deterioração da camada, (BETUSEAL, 2015).

Tratando-se da utilização das pavimentações, com a intensificação da indústria automobilística hoje o meio de transporte rodoviário é o mais utilizado no mundo, no Brasil por exemplo, 62% das cargas são transportadas pelas estradas e rodovias, além disso a locomoção de automóveis é elevada, o que deixa claro a importância de uma pavimentação de qualidade, (CERQUEIRA; FRANCISCO, 2019).

A figura abaixo mostra a distribuição da utilização dos meios de transportes em alguns dos países mais desenvolvidos.

Figura 05: Sistemas de transportes utilizados no mundo.

Fonte: Disponível em <<https://slideplayer.com.br/slide/66758/>>, 2019.

2.7 Patologia nas pavimentações

É comum em muitos pavimentos após um curto período de tempo apresentar irregularidades, devido à uma série de fatores desde à execução até a sua utilização, por exemplo, intemperismo e cargas provenientes dos veículos, a falta de manutenção também é uma realidade e mesmo quando há manutenção muitas das vezes é um remendo qualquer, deixando a pavimentação cheia de relevos. Essas irregularidades são as patologias apresentadas na malha asfáltica que trazem prejuízos ao usuário, prejudicando o veículo e trazendo riscos à vida. São exemplos de patologias asfálticas:

Tabela 03: Patologias nas pavimentações

Patologias Estruturais	Patologias Funcionais
Corrugações	Exsudação de Asfalto
Afundamentos	Desgaste
	Escorregamentos de revestimento betuminoso
	Trincas e Fissuras (Fendas)
	Panela

Fonte: Ribeiro (2017) *apud* Ferreira; Carneiro Neto (2018).

2.7.1 Corrugações

De acordo com a CNT (Confederação Nacional do Transporte), ondulação ou corrugação é o “movimento plástico do revestimento, (que são enrugamentos) transversais na superfície do pavimento”, que podem ser causados por falta de estabilidade ou contaminação da massa asfáltica, excesso de umidade no solo subleito, segundo Ferreira; Carneiro Neto (2018) *apud* Ribeiro (2017), “essa

patologia está associada às tensões cisalhantes horizontais que se formam em áreas submetidas à aceleração dos veículos”.

Figura 06: Exemplo de corrugação.



Fonte: DNIT, 2003.

2.7.2 Afundamentos

Segundo CNT (2018), os afundamentos são:

Deformação permanente caracterizada por depressão da superfície do pavimento sem estar acompanhado de solevamento (compensação volumétrica lateral). Quando a extensão é de até 6 m, é denominado de afundamento de consolidação local. Para extensões maiores que 6 m e se for localizado ao longo da trilha de roda, denomina-se afundamento de consolidação de trilha de roda. Principais causas: fluência plástica de uma ou mais camadas do pavimento ou do subleito; densificação ou ruptura por cisalhamento de camadas subjacentes ao revestimento; falha de compactação na construção; problemas de drenagem.

Figura 07: Exemplo de afundamento de consolidação de trilha de roda.



Fonte: BERNUCCI, 2008.

2.7.3 Exsudação de Asfalto

Segundo Silva (2005), quando não há espaço de vazios ou excesso de ligante asfáltico, ao dilatar-se devido ao calor, o asfalto fica sem espaço para ocupar, por isso ocorre a exsudação. De acordo com o CNT (2018), a exsudação é um:

“Filme de material betuminoso que aparece na superfície do pavimento criando um brilho vítreo, causado pela migração do ligante por meio do revestimento. Sua principal causa é a excessiva quantidade de ligante; baixo conteúdo de vazios”.

Figura 08: Exemplo de exsudação.



Fonte: www.paulomarkesnoticias.com.br.

2.7.4 Desgaste

Segundo o CNT (2018), desgaste é o “efeito do arrancamento progressivo do agregado do pavimento, causando aspereza superficial do revestimento”. Com o passar do tempo, os esforços oriundos do tráfego e o intemperismo provocam a perda da qualidade do asfalto, de acordo com Ribeiro (2017) apud Ferreira e Carneiro Neto (2018), o desgaste “é resultante da deficiência na ligação entre os componentes das misturas betuminosas ou a sua má formulação, da utilização de materiais não apropriados e de erros na construção”.

Figura 09: Exemplo de desgaste do asfalto.



Fonte: Martins (2017).

2.7.5 Escorregamento do revestimento betuminoso

Conforme o CNT (2018), o escorregamento é o “deslocamento do revestimento em relação à camada subjacente do pavimento com aparecimento de fendas em meia-lua. Suas principais causas são falhas construtivas e de pintura de ligação”. De acordo com o DNIT (2003) “A compactação ineficiente das camadas do pavimento e a imprimação deficiente entre uma camada e outra”. Segundo Silva (2008) apud Martins (2017), “é frequentemente encontrado em regiões do pavimento que há trechos de aceleração: aclives e declives; curvas; pontos de parada ou obstáculos (lombada e ponto de ônibus)”.

Figura 10: Exemplo de escorregamento.



Fonte: DNIT, 2003.

2.7.6 Trincas e Fissuras (Fendas)

De acordo com o DNIT (2003), “Qualquer descontinuidade na superfície do pavimento, que conduza a aberturas de menor ou maior porte, apresentando-se sob diversas formas [...]”. Neste grupo são encontradas diversos tipos de patologias, por exemplo, fissuras, trincas transversais, longitudinais, trinca do tipo couro de jacaré e trincas do tipo bloco, (CNT, 2018). As trincas são consideradas maiores que as fissuras, podendo ser vistas mais facilmente, são exemplos de causas dessas patologias:

Quadro 01: Patologias do tipo Trincas e Fissuras.

Patologia	Descrição	Principais causas
Fissuras	São fendas capilares no revestimento asfáltico que ainda não causam problemas funcionais nem estruturais na rodovia. Elas estão posicionadas longitudinal, transversal ou obliquamente e são perceptíveis à vista de quem está a até 1,5 m de distância. A extensão das fissuras é inferior a 30 cm.	Má dosagem do asfalto, excesso de finos (ou material de enchimento) no revestimento; compactação excessiva ou em momento inadequado.
Trinca transversal	Trinca isolada em direção perpendicular ao eixo da via. Se a extensão for de até 100	Contração da capa asfáltica causada devido a baixas temperaturas ou

	cm, é denominada trinca transversal curta. Quando a extensão for superior a 100 cm, denomina-se trinca transversal longa. É um defeito funcional (grandes trincamentos causam irregularidade) e estrutural (enfraquecem o revestimento do pavimento).	ao endurecimento do asfalto; propagação de trincas nas camadas inferiores à do revestimento da estrada.
Trinca Longitudinal	Trinca isolada em direção predominantemente paralela ao eixo da via. Se a extensão for de até 100 cm, é denominada trinca longitudinal curta. Quando a extensão for superior a 100 cm, denomina-se trinca longitudinal longa. Defeito funcional (grandes trincamentos causam irregularidade) e estrutural (enfraquecem o revestimento do pavimento).	Má execução da junta longitudinal de separação entre as duas faixas de tráfego; recalque diferencial; contração de capa asfáltica devido a baixas temperaturas ou ao endurecimento do asfalto; propagação de trincas nas camadas inferiores à do revestimento da estrada.
Trinca tipo couro de jacaré	Conjunto de trincas interligadas sem direções definidas, assemelhando-se ao aspecto de couro de jacaré. São um defeito estrutural.	Colapso do revestimento asfáltico devido à repetição das ações do tráfego; subdimensionamento ou má qualidade da estrutura ou de uma das camadas do pavimento; baixa capacidade de suporte do solo; envelhecimento do pavimento (fim da vida); asfalto duro ou quebradiço.
Trinca tipo bloco	Conjunto de trincas interligadas formando blocos retangulares com lados bem definidos. Trata-se de defeito funcional (grandes trincamentos em bloco causam irregularidade) e estrutural (reduzem a integridade estrutural do pavimento).	Contração da capa asfáltica devido à alternância entre altas e baixas temperaturas; baixa resistência à tração da mistura asfáltica.

Fonte: Confederação Nacional do Transporte CNT (2018).

Figura 11: Trinca tipo bloco



Fonte: DNIT, 2003.

2.7.7 Painelas

As painelas são consequências da evolução das patologias, trincas, afundamentos e desgastes, causando a perda da camada do asfalto, gerando os buracos de vários tamanhos. Segundo Silva (2005), a água das chuvas também ajuda na evolução do processo de deterioração do revestimento e o aumento da cavidade. A painela é sem dúvida, a pior patologia do asfalto, causando a perda do controle e a quebra de peças dos veículos.

Figura 12: Exemplos de painelas.



Fonte: Disponível em <<https://www.oarquivo.com.br/temas-polemicos/verdades-inconvenientes.>>, 2019.

2.8 Vantagens e desvantagens do asfalto borracha, um comparativo com o asfalto convencional

Estudos apontam que a utilização da borracha moída proveniente dos pneus traz melhorias as propriedades ligantes da massa asfáltica, tornando o asfalto borracha uma excelente opção para as pavimentações que exigem maior resistência aos elevados esforços oriundos do tráfego e de situações climatológicas, (ROSA et al. 1997).

Segundo Silva; Coêlho 2018, o asfalto borracha tem como características, o aumento da flexão, destinação sustentável de pneus, economia de combustível, durabilidade, viscosidade, capacidade de impermeabilização, aderência ao trafegar, melhor frenagem, elasticidade, menor risco de aquaplanagem, menor sensibilidade a variações extremas de temperatura, redução de ruído entre pneu e pavimento, possibilidade de redução da espessura da pavimentação.

De acordo com Morilha Jr. e Greca (2003), a flexibilidade se dá através concentração de elastômeros na borracha dos pneus e a adesividade do ligante nos

agregados, a durabilidade é devido à presença de antioxidantes e carbono na borracha, reduzindo sua oxidação.

O quadro abaixo apresenta as principais vantagens e desvantagens do asfalto borracha:

Quadro 02: Vantagens e desvantagens do asfalto borracha.

VANTAGENS	Aumento da vida útil do pavimento. (Durabilidade).
	Maior resistência à formação de trilhas de rodas, à reflexão de trincas e ao envelhecimento (Elasticidade).
	Proporciona pavimentos mais seguros, confortáveis e silenciosos.
	Melhor relação custo-benefício do mercado.
	Aplicação, usinagem e estocagem simples.
	Não necessitam de agitação constante.
	Melhor aderência entre os agregados e o ligante.
	Maior resistência ao envelhecimento.
	Recuperação elástica superior.
	Menor susceptibilidade térmica.
DESVANTAGENS	Ecologicamente correto.
	Custo por tonelada mais elevado.
	Heterogeneidade
	Índices de Temperatura mais elevados
	Odor

Fonte: Greca Asfaltos, 2008.

A tabela abaixo apresenta uma comparação com dois tipos de asfalto.

Tabela 04: Comparativo entre o asfalto borracha x Asfalto convencional.

ASFALTO BORRACHA	CBUQ CONVENCIONAL
Maior durabilidade	Menor durabilidade
Alta aderência e estabilidade	Aderência e estabilidade regular
Melhor adesividade dos agregados	Boa adesividade dos agregados
Pavimento mais resistente	Resistência regular
Redução de espessura do pavimento	Pavimentos mais espessos
Exige maior controle tecnológico	Menor rigor tecnológico
Executável em altas temperaturas	Temperaturas mais baixas
Maior custo de execução	Menor custo de execução
Poucas manutenções	Manutenções frequentes

Fonte: Greca Asfaltos, 2008 (Adaptado).

Segundo Morilha Jr. e Greca (2003), “o ligante asfalto-borracha possui um ponto de amolecimento maior que o do convencional melhorando a resistência da formação de trilhas de roda.” Conforme Silva, Coêlho (2018) em uma comparação feita com o asfalto convencional (CBUQ), o ligante asfáltico com borracha leva 3 vezes mais tempo para o aparecimento de patologias:

Foram submetidas duas placas para ao simulador de trafego, a placa da esquerda é confeccionada com ligante convencional deformou-se 13% após 10.000 ciclos, quanto que a placa da direita é composta por asfalto borracha deformou-se apenas 5% após 30.000 ciclos de deformações.

Figura 13: Placas após simulador de tráfego.



Fonte: Silva e Coêlho, 2018.

3.0 METODOLOGIA

O método de pesquisa utilizado é o descritivo, onde foram usadas técnicas de coleta de dados obtidos através de pesquisas bibliográficas em livros, artigos, artigos de revista e sites do campo da engenharia civil, com o objetivo de descrever sobre o método construtivo sustentável do asfalto borracha, afim de apresentar sua importância como solução para o impacto ambiental do descarte incorreto de pneus inservíveis na natureza e sua eficácia como material ligante asfáltico para o tratamento das patologias presentes nas pavimentações.

O artigo aborda suas principais vantagens e desvantagens de suas propriedades como massa asfáltica, sua viabilidade econômica através de um estudo de caso comparando os custos da sua utilização com as do asfalto convencional, o conceito de pavimentação e suas principais patologias.

4.0 DISCUSSÕES E RESULTADOS

4.1 Comparativo de custo de uma estrada utilizando Asfalto Borracha e Asfalto Convencional (Estudo de caso)

Um estudo orçamentário realizado pela empresa Greca Asfaltos que é a pioneira na criação do ECOFLEX, asfalto com adição de borracha moída, comparou a utilização de uma camada de concreto asfáltico com ligante CAP-50/70 e também a aplicação do asfalto borracha em uma reforma de uma estrada de 30 quilômetros, os dados foram os seguintes:

A figura abaixo apresenta a quantidade em toneladas do asfalto borracha e do asfalto convencional. O asfalto borracha está em menor quantidade, pelo fato da diminuição da camada superficial.

Figura 15: Massa asfáltica em toneladas.

Revestimento em CBUQ convencional:	Revestimento em CBUQ com Asfalto Borracha com redução de 30%:
30.000 m X 7,00 m X 0,05 m X 2,5 t/m ³ = 26.250 toneladas de massa asfáltica de CBUQ normal	30.000 m X 7,00 m X 0,035 m X 2,5 t/m ³ = 18.375 toneladas de massa asfáltica de CBUQ com Asfalto Borracha

Fonte: Greca Asfaltos, 2009.

É importante observar que a quantidade de massa asfáltica do asfalto borracha é menor, devido ao fato da espessura da camada ter sido diminuída, enquanto o convencional tem 5cm, o asfalto borracha tem redução de 30% indo para 3,5 cm, por ser mais resistente se permitindo diminuí-la, o que implica economicamente, reduzindo os gastos de produção.

As premissas adotadas foram, o preço do CAP-50/70 que é de R\$1.150,00/tonelada e o preço do asfalto borracha é de 1,550,00/tonelada, ambos sem considerar o frete. No estudo também foi informado o teor ligante das massas, CAP-50/70 com 5% e o asfalto borracha com 5,5% tendo em vista sua maior viscosidade.

O preço dos insumos e o gasto com a aplicação do asfalto borracha é de 15% mais alto que o convencional, pois estão inclusos elevação de temperatura de usinagem como forma de eficiência na compactação do revestimento.

Figura 16: Preço dos insumos e aplicação por tonelada.

CBUQ com CAP 50/70:	R\$ 200,00 por tonelada
CBUQ com Asfalto Borracha:	R\$ 230,00 por tonelada

Fonte: Greca Asfaltos, 2009

Na tabela 5 estão apresentados os custos de execução dos dois tipos de asfaltos, foram adotados para esta pesquisa a quantidade de massa produzida, o custeamento de usinagem e aplicação, o teor de asfalto, o custo de asfalto por tonelada e o custo de asfalto no CBUQ.

Tabela 05: Comparativo de custo do Asfalto borracha x CBUQ Convencional

	Grandezas	Cálculos	Unidade	Tipo de Asfalto	
				Cap 50/70	Asfalto Borracha (ECOFLEX)
A	Quantidade de massa asfáltica CBUQ produzida	-	Ton	26.250	18.375
B	Custo de Usinagem/Aplicação	-	R\$/Ton	200,00	230,00
C	Quantidade de massa x custo de Usinagem/Aplicação	AxB	R\$	5.250.000,00	4.226.250,00
D	Teor de Asfalto	-	% Peso	5%	5,5%
E	Custo de asfalto por tonelada	-	R\$/Ton	1.150,00	1.550,00
F	Custo Asfalto no CBUQ	AxDxE	R\$	1.509.375,00	1.566.468,75
G	Custo total da Obra	C+F	R\$	6.759.375,00	5.792.718,75

Fonte: Greca Asfaltos, 2009.

Pode-se observar uma grande redução no custo quando se utiliza o asfalto borracha, pois com a diminuição da espessura da camada a quantidade de massa para utilização no trajeto é menor, por isso os gastos com a energia de produção são menores em relação aos do asfalto convencional, tornando o asfalto borracha mais em conta. A diferença de preço em porcentagem se apresenta conforme o cálculo abaixo:

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

Figura 17: Porcentagem da redução de custo do CBUQ com Asfalto borracha.

Redução de Custo do CBUQ com Asfalto-Borracha em substituição ao CAP 50/70	R\$	966.656,25
	%	14,3

Fonte: Greca Asfaltos, 2009.

De acordo com os dados obtidos pela empresa Greca Asfaltos (2009):

A utilização de revestimento com Asfalto Borracha permite uma redução no custo da obra de aproximadamente 14%. Reduções de espessura de menor monta, como 20% ou 25%, também permitirão uma redução importante no custo da obra.

5.CONCLUSÃO

Ao longo do trabalho o asfalto borracha mostrou ser uma tecnologia inovadora sustentável e eficiente em sua utilização como material asfáltico, apresentando técnicas de solução ambiental, minimizando os índices de poluição de resíduos gerados pelo descarte inadequado de pneus inservíveis na natureza, incentivando programas de coleta e até mesmo a logística reversa, onde os pneus são devolvidos as indústrias pelos consumidores quando não podem ser mais utilizados em veículos, pelo fato de estarem acidentados ou gastos.

A utilização da borracha como material agregado também apresentou ser eficiente nas pesquisas realizadas, com modificações positivas nas propriedades do ligante asfáltico, gerando muitas vantagens comparadas ao asfalto convencional, que mostrou ser um asfalto mais sensível a possíveis patologias. Além disso, a adição da borracha moída possibilita a criação de pavimentos mais resistentes às intempéries e aos esforços oriundos provenientes do tráfego do sistema rodoviário que é o mais utilizado no mundo, trazendo mais conforto e qualidade no rolamento devido a sua alta viscosidade, diminuindo os índices de acidentes com derrapagens, o que apresentou ser mais seguro comparado ao asfalto convencional.

Pôde-se analisar com o estudo de caso realizado pela empresa Greca Asfaltos (2009), a possibilidade de ter ganhos econômicos e financeiros com a utilização da borracha como agregado, através da diminuição da espessura da camada de asfalto, que por apresentar maior capacidade de resistência a penetração possibilita sua minimização, reduzindo os gastos de produção.

O futuro do planeta depende da preservação do meio ambiente, e o dever da engenharia é caminhar ao lado dessa prática, sempre visando a utilização de técnicas com pensar sustentável, afins de reutilizar os resíduos que por hora são prejudiciais à saúde humana e ambiental, reduzindo os gastos de recursos naturais.

Além de ser uma excelente opção como ligante asfáltico, o asfalto borracha é ecologicamente correto, sendo uma técnica que visa a sustentabilidade, que tem como objetivo a retirada de pneus inservíveis do meio ambiente para reutilização como agregado, preservando a saúde e a vida da fauna e flora.

Com tudo, apesar de ter um custo inicial alto, os custos com manutenções são muito menores e as vantagens de viabilidade econômica e ambiental apresentadas pelo asfalto borracha são inúmeras, o que o torna mais atrativo em relação ao asfalto convencional, porém ainda não é o mais utilizado. É necessário estimular e mostrar as empresas o quão vantajoso é a utilização desse material, que proporciona menos ruídos, mais vida útil e segurança para os usuários.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Asfalto derrete em rodovia Estadual. 2014. Disponível em: <<http://www.paulomarquesnoticias.com.br/noticia,325,Asfalto-derrete-em-rodovia-Estadual>> Acesso em: 8 out. 2019.

BETUSEAL. **Entenda o que significa pavimentação,** 2015. Disponível em: <https://www.betuseal.com.br/entenda-significa-pavimentacao/> Acesso em: 27 de Setembro de 2019.

BERNUCCI, Liedi *et al.* **Pavimentação asfáltica, Formação básica para engenheiros.** Rio de Janeiro: Universidade Petrobras, 2008.

BRASIL. Comitê Interministerial da Política Nacional de Resíduos Sólidos. **Decreto nº 7.404, de 23 de dezembro de 2010. Regulamenta a Lei no 12.305, de 2 de agosto de 2010.** Brasília: Presidência da república, 2010.

CONAMA - Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resolução nº 258, de 26 de agosto de 1999.** Brasília: CONAMA, 1999.

CORDEIRO, Willian Rubbioli; PINTO, Salomão. **Algumas considerações sobre asfalto modificado por borracha de pneus. In: Pavimentação asfáltica: conceitos fundamentais sobre materiais e revestimentos asfálticos.** Rio de Janeiro: LTC, 2018.

CNT – **Confederação Nacional dos Transportes.** Pesquisa Rodoviária, 2018.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTE. **DNIT 005/2003 – TER: Defeitos nos pavimentos flexíveis e semi-rígidos – Terminologia.** Rio de Janeiro, 2003.

DINÂMICA AMBIENTAL. **Você sabe o tempo de decomposição de pneus? Entenda a importância de sua reciclagem,** 2017. Disponível em: <<https://www.dinamicambiental.com.br/blog/reciclagem/voce-decomposicao-pneus-entenda-importancia-reciclagem/>> Acesso em: 27 de Set. de 2019.

Estudo Completo sobre o ECOFLEX. 2009. Disponível em: <http://www.flexpave.com.br/leiamais_ecoflex/13_estudo_ecoflex_2009.pdf> Acesso em 1 Out. de 2019.

FAXINA, A.L., **Estudo em laboratório do desempenho de concreto asfáltico usinado a quente empregando ligante tipo asfalto borracha.** Dissertação de Mestrado, EESC/USP, São Carlos – São Paulo, 2002.

FERREIRA, A.B; CARNEIRO, Neto; MARIANO, Mozart. **Estudo de caso de patologias e recuperação de pavimentos flexíveis,** 2018.

GRECA ASFALTOS. **Contabilidade ecológica – Asfalto-borracha.** 2013 Disponível em: <http://www.grecaasfaltos.com.br/fatos/fatos_25.pdf> Acesso em: 27 de Set. de 2019.

HEIZTMAN, M. **Design of construction Of Asphalt paving materials with crumb rubber modifier**. Washington: National Research Council, 1992.

Informativo Trimestral GRECA ASFALTOS. Ano 5, nº 13, abril de 2008. Disponível em: <http://www.grecaasfaltos.com.br/fatos/fatos_13.pdf> Acesso em: 1 Out. de 2019.

Informativo Quadrimestral GRECA ASFALTOS. Ano 8, nº 24, outubro, 2011. Disponível em: <http://www.grecaasfaltos.com.br/fatos/fatos_24.pdf> Acesso em: 1 Out. de 2019.

MARTINS, Haroldo A.F. **A utilização da borracha de pneus na pavimentação asfáltica**. São Paulo: Universidade Anhembi Morumbi, 2017.

MORILHA, JR. **Estudo sobre a ação de modificadores no envelhecimento dos ligantes asfálticos e nas propriedades mecânicas e de fadiga das misturas asfálticas**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2003.

ODA, S.; FERNANDES JUNIOR, J.L. **Borrachas de pneu como modificador de cimentos asfálticos para o uso em obras de pavimentação**. São Carlos: Departamento de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Maringá, 2001.

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

SANCHES, Felipe G.; GRANDINI, Fernando H. B; JÚNIOR Orlei B. **Avaliação da Viabilidade Financeira de Projetos com Utilização do Asfalto Borracha em Relação ao Asfalto Convencional**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação), Curso Superior de Engenharia de Produção Civil, Curitiba: Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), 2012.

SILVA, Gabriella. COELHO, Mauro Frank Oguino. **Uso do asfalto borracha na pavimentação de rodovias**. *Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento*, 2018. Vol. 01, Ed. 11, p. 96-117, 2018.

SILVA, Paulo Fernando A. **Manual de patologia e manutenção de pavimentos**. 2. ed. São Paulo: Pini, 2005.

LEÃO, Luiz. **Benefícios da utilização de borracha granulada em obras públicas**. São Paulo: SINICESP, 2013. Disponível em: <<http://www.sinicesp.org.br/materias/2013/bt08a.htm>> Acesso em: 27 de Set. de 2019.

SPECHT, L.P. **Avaliação de misturas asfálticas com incorporação de borracha reciclada de pneus**. Porto Alegre, RS: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2004.

WICKBOLDT, V. S. **Ensaio Acelerados de Pavimentos para Avaliação de Desempenho de Recapeamentos Asfálticos**. Dissertação de Mestrado, PPGE/UFRGS, 134p., 2005.

ZATARIN, Ana Paula Machado et al. Viabilidade da Pavimentação com Asfalto borracha. **Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental**. 2017, Florianópolis – SC: v. 5, n. 2, p.649- 674, 2017. Disponível em: <http://www.portaldeperiodicos.unisul.br/index.php/gestao_ambiental/article/view/3323/2822> Acesso em: 1 Out. de 2019.