

USO DA BORRACHA DE PNEUS NA PAVIMENTAÇÃO COMO UMA ALTERNATIVA ECOLÓGICAMENTE VIÁVEL NO ESTADO DE MINAS GERAIS

USE OF TIRES RUBBER IN PAVING AS AN ALTERNATIVE ECOLOGICALLY VIABLE IN STATE THE OF MINAS GERAIS

Como citar esse artigo:

FAGUNDES, Fernando Dantas; CORREA, Willian; USO DA BORRACHA DE PNEUS NA PAVIMENTAÇÃO COMO ALTERNATIVA ECOLÓGICAMENTE VIÁVEL NO ESTADO DE MINAS GERAIS. Anais do 3º Simpósio de TCC, das faculdades FINOM e Tecsoma. 2020; 745-768

Fernando Dantas Fagundes¹, Willian Correa²

1 Acadêmico do Curso de Engenharia Civil

2 Professor mestre e coordenador do Curso de Engenharia Civil

Resumo

A evolução das técnicas de engenharia e transporte contribuíram para que uma grande parte do nosso deslocamento seja realizado em uma via pavimentada. No entanto, o ponto mais observado nos dias de hoje na construção de novos pavimentos está relacionado com as questões ambientais. Visando a sustentabilidade, uma das soluções encontradas foi a utilização de borracha moída de pneus inservíveis na mistura do ligante asfáltico, e por meio de uma revisão bibliográfica sobre o tema, este trabalho tem o propósito de difundir e incentivar a utilização do asfalto-borracha na construção e manutenção dos pavimentos, apresentar as técnicas utilizadas nas misturas asfálticas com restos ou resíduos de borracha, elaborar uma análise comparativa entre o asfalto convencional e o asfalto-borracha, realizar uma análise da viabilidade de aplicação do asfalto-borracha por meio de um estudo de caso, evidenciando os benefícios econômicos, durabilidade, execução e manutenção, sustentabilidade e a qualidade do asfalto. Algumas concessionárias e empresas já utilizam o asfalto-borracha em obras de recapeamento por este tipo de asfalto apresentar algumas vantagens como maior vida útil do pavimento, retorno elástico elevado, grande resistência à oxidação do pavimento causando envelhecimento precoce, resistência às intempéries, resistência superior em relação às deformações plásticas, menos manutenção e menor custo de fabricação e de execução.

Palavras-chave: Asfalto-Borracha; Sustentabilidade; Viabilidade Econômica; Revestimento Asfáltico.**Abstract**

The evolution of engineering and transportation techniques have contributed to a large part of our displacement being carried out on a paved road. However, the most observed point today in the construction of new floors is related to environmental issues. Aiming at sustainability, one of the solutions found for the use of ground rubber from unserviceable tires in the mixture of asphalt binder, and through a bibliographic review on the subject, this work aims to disseminate and encourage the use of asphalt-rubber in construction and maintenance of pavements, present the techniques used in asphalt mixtures with rubber residues or residues, develop a comparative analysis between conventional asphalt and rubber asphalt, perform an analysis of the feasibility of applying asphalt-rubber through a case study, evidencing the economic benefits, durability, execution and maintenance, sustainability and the quality of the asphalt. Some concessionaires and companies already use asphalt-rubber in resurfacing works for this type of asphalt, presenting some advantages such as longer pavement life, high elastic return, great resistance to early pavement oxidation, weather resistance, superior resistance in relation to plastic deformations, less maintenance and lower manufacturing and execution costs.

Keywords: Asphalt-Rubber; Sustainability; Economic Viability; Asphalt Coating.**Contato:** fernando.fagundes@soufinom.edu.br; williamcorrea@finom.edu.br;

Introdução

A evolução das técnicas de engenharia e do transporte, ao longo dos anos, contribuiu para que uma grande parte do deslocamento seja realizado em estradas pavimentadas. O pavimento é composto por várias camadas, sendo elas, revestimento, base, sub-base, subleito e o reforço do subleito. A NBR 11170 (1990) define pavimento como uma estrutura construída sobre o leito natural de uma via, constituída de uma ou várias camadas, com a capacidade de resistir os esforços oriundos dos veículos e pelas variações ambientais, distribuí-las minoradas no subleito, e dar condições de conforto e segurança de rolamento.

Um dos métodos de pavimentação mais utilizado é o pavimento flexível, também conhecido como pavimento asfáltico. Segundo Bernucci *et al.* (2008), ele é chamado assim porque seu revestimento apresenta uma mistura composta de ligante asfáltico e agregados.

O revestimento asfáltico pode sofrer modificações com o objetivo de melhorar a composição do asfalto adequando às necessidades da população, por meio da incorporação de modificadores de asfalto, tais como: fíleres especiais, fibras e borrachas, as quais vêm tomando impulsos significativos ao longo dos anos (BERNUCCI *et al.*, 2008).

Atualmente, no entanto, o ponto mais observado nas construções de rodovias está relacionado com as questões ambientais e o que pode ser feito para amenizar os danos causados. Portanto, a utilização de materiais ecologicamente viável no processo de construção do asfalto tem suma importância na diminuição dos impactos ambientais.

Com isso, faz necessário a busca de alternativas que possibilitam a reutilização de recursos não renováveis com o intuito de contribuir o máximo em medidas mais sustentáveis. Isso faz com que a construção civil passa a ser uma área que não preocupa somente com o bem-estar da população, mas principalmente com o meio ambiente por estar aliada com as questões ambientais.

Por conseguinte, com a finalidade de alcançar meios sustentáveis, melhorias e baixo custo no setor da pavimentação, a utilização de borracha de pneus na mistura do ligante asfáltico (asfalto-borracha) em obras rodoviárias foi uma das soluções encontradas para contribuir de alguma forma, com os problemas referente ao grande número de pneus inservíveis que são descartados no Brasil.

Objetivo

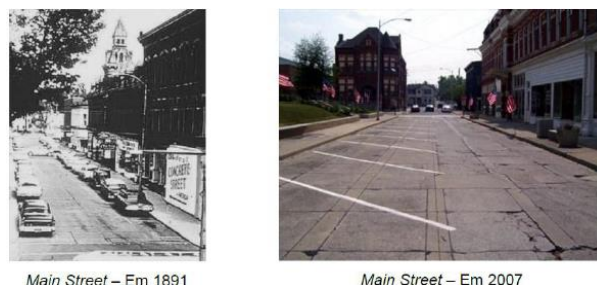
Este trabalho tem como objetivo apresentar as técnicas utilizadas nas misturas asfálticas com restos ou resíduos de borracha, elaborar uma análise comparativa entre o asfalto convencional e o asfalto-borracha, realizar uma análise da viabilidade de aplicação do asfalto-borracha, evidenciando os benefícios econômicos, durabilidade, execução e manutenção, sustentabilidade e a qualidade do asfalto por meio de um estudo de caso utilizando os materiais disponibilizados por algumas empresas e autores especializados no assunto.

Pavimentação

O pavimento, estrutura constituída de diversas camadas, é construída sobre a base já finalizada a terraplenagem destinado a resistir os esforços provenientes do tráfego de veículo transmitindo-os às camadas subjacentes e estas ao subleito, com a finalidade de garantir conforto, economicidade e segurança aos usuários.

Segundo Senço (1997), as primeiras pavimentações foram realizadas pelos ingleses em 1865. De acordo com Silva *et al.* (2018), registros históricos mostram que o primeiro pavimento rodoviário de concreto construído nos Estados Unidos da América foi em 1891, na Main Street, Bellafontaine, Ohio. Hoje ela funciona como um calçadão para pedestres (Figura 01).

Figura 01 – Primeiro pavimento rodoviário construído nos EUA



Fonte: (SILVA *et al.*, 2018)

No Brasil, segundo Silva e Carneiro (2014), o primeiro pavimento foi construído no Caminho do Mar, rodovia que liga São Paulo a Cubatão, em 1926. Logo em seguida, foram executadas outras pavimentações em concreto, como por exemplo, a travessia de São Miguel Paulista e a antiga estrada Rio - São Paulo.

Bernucci *et al.* (2008) destaca, em 1937, que o então presidente Getúlio Vargas criou o Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER), subordinado ao Ministério de Viação e Obras Públicas, originado da antiga Comissão de Estradas de Rodagem Federais (CERF).

Após o governo militar (1964-1984), o Brasil contava com aproximadamente 110.000 km de rodovias pavimentadas, e entre os projetos de estradas de destaque estão a Rodovia Transamazônica e a Ponte Rio-Niterói.

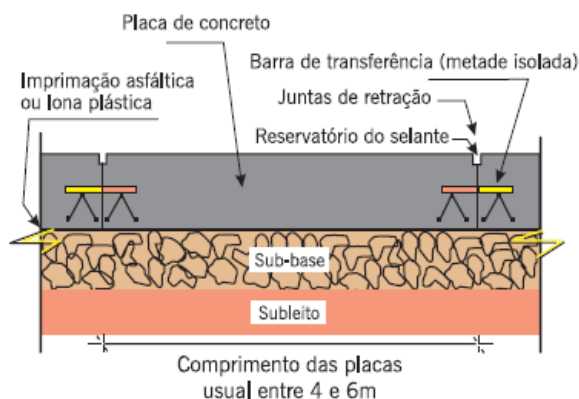
Tipos de pavimentos

Bernucci *et al.* (2008) divide o pavimento rodoviário em dois tipos básicos: rígidos (conhecido recentemente como pavimento de concreto de cimento Portland) e flexíveis (comumente chamado de pavimento asfáltico). Além desses dois tipos, o Manual de Pavimentação do DNIT (2006) ainda elenca mais um tipo, sendo este o pavimento semi-rígido.

O pavimento rígido (pavimento concreto-cimento) são aqueles em que o revestimento é feito com uma camada-placa de concreto de cimento Portland (Figura 02), armadas ou não com barras de aço (BERNUCCI *et al.*, 2008). O Manual do DNIT (2006)

caracteriza-o como aquele que o revestimento que possui alta rigidez comparado com as camadas inferiores, absorvendo mais tensões em relação aos esforços aplicados.

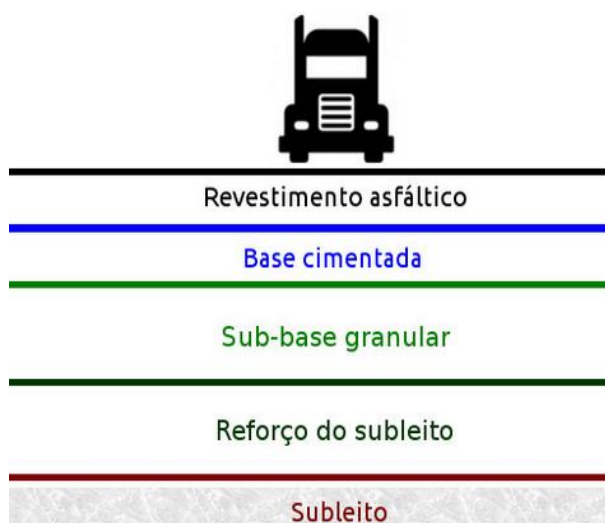
Figura 02 – Pavimento rígido (corte longitudinal)



Fonte: (BERNUCCI *et al.*, 2008)

O pavimento semi-rígido preserva algumas características do pavimento concreto-cimento e do pavimento flexível. Para Jiménez (2014), este tipo de pavimento possui uma elevada rigidez das camadas que o constituem, em especial a camada de base que recebe as tensões oriundas da passagem de veículos reduzindo significativamente os esforços à fundação. Sendo assim, uma característica específica apontada pelo Manual do DNIT (2006) é que sua base é cimentada com por algum aglutinante com propriedades cimentícias, como por exemplo uma camada de solo-cimento (Figura 03).

Figura 03 – Pavimento semi-rígido (corte transversal)

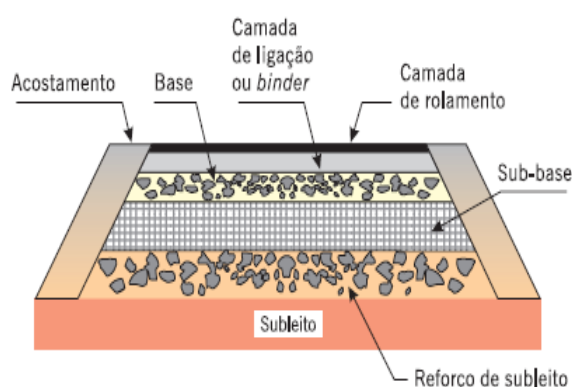


Fonte: (BERNUCCI *et al.*, 2008)

De acordo com Bernucci *et al.* (2008), os pavimentos asfálticos (pavimentos flexíveis) são caracterizados pela mistura de agregados e ligantes asfálticos na

composição de seu revestimento. O autor ainda afirma que o revestimento asfáltico é a camada superior do pavimento, destinada a receber as cargas dos veículos e transmitir as camadas inferiores, impermeabilizar o pavimento e ainda melhorar as condições de segurança e conforto. Uma característica apontada pelo DNIT (2006), é que no pavimento flexível todas as camadas sofrem deformações elásticas significativa sob o carregamento aplicado fazendo com que a carga se reparte em parcelas semelhantes entre todas camadas (Figura 04).

Figura 04 – Pavimento flexível (corte transversal)



Fonte: (BERNUCCI *et al.*, 2008)

Asfalto-Borracha

Com o passar do tempo, vários pesquisadores vêm tentando desenvolver técnicas com o objetivo de melhorar a qualidade e composição do asfalto. Uma dessas técnicas, se deu pela inserção de borracha de pneus descartados em ligantes asfálticos, cujo objetivo inicial desta aplicação era buscar materiais que apresentassem boa flexibilidade na temperatura ambiente, mas, além de trazer alguns benefícios, se tornou uma alternativa para minimizar os problemas ambientais (BERNUCCI *et al.*, 2008). Segundo Andrade e Alves (2019), o asfalto-borracha é uma camada aplicada a quente e pode ser executada em um pavimento antigo ou acima de uma base.

Os pneus inservíveis sempre foram um problema para a sociedade, mas sua utilização em pavimentação se tornou uma das técnicas mais utilizadas no mundo todo por conseguir empregar grande volume de resíduos e ainda melhorando as misturas asfálticas sob vários aspectos.

Surgimento do asfalto-borracha

Na década de 1950, foram realizadas algumas tentativas da utilização de borracha de pneus em, porém os resultados não instigaram os pesquisadores. Alguns anos depois, o engenheiro Charles H. McDonalds (Figura 05), considerado o pai do asfalto-borracha, ao realizar alguns serviços de tapa-buracos, resolveu experimentar a mistura de pó de pneu e asfalto quente e concluiu que não oxidava como os asfaltos

convencionais. Logo após esse experimento, outros artigos científicos apresentando os benefícios do novo material foram publicados (DI GIULIO, 2007).

Figura 05 – Engenheiro Charles McDonald



Fonte: (ANTT, 2017)

De acordo com Zatarin *et al.* (2017), a mistura desenvolvida por Charles apresentou ser 40% mais resistente que o asfalto convencional além de possuir diversas vantagens, entre elas: melhor conforto, baixo ruído e aderência elevada, diminuindo a possibilidade de derrapar. No Brasil, os primeiros estudos com foco na inserção de borracha em ligantes asfálticos surgiram a partir da década de 1990, mas a aprovação e incentivo do uso da borracha em obras rodoviárias foi ocorrida apenas no ano de 1999, pela Res. nº 258 do Conselho Nacional do Meio Ambiente -CONAMA (SOUZA e MOTA, 2019).

A primeira aplicação do asfalto-borracha realizada por via úmida foi em agosto de 2001 na Rodovia BR-116 no Rio Grande do Sul pela parceria entre a Metrovias, a Greca Asfaltos e a UFRGS. Andrade e Alves (2019) afirmam que foram aproximadamente 2 km, localizados entre os km 318 e 320 desta rodovia.

Di Giulio (2007) apresenta dois trechos que também receberam o asfalto modificado por borracha: a rodovia SP 075, entre os km 18 e 19 – conhecida como Rodovia do Açúcar, em 2002 e a rodovia SP 127, entre os km 101 e 105 — na Rodovia Antônio Romano Schincariol, em 2005.

Segundo o autor, a escolha se deu pelo grande volume de veículos que passam pelos locais diariamente. A Greca Asfaltos, a primeira empresa a utilizar o asfalto-borracha no Brasil, afirmou em site oficial que já conseguiu reaproveitar mais de 10 milhões de pneus inservíveis, transformando-os em um produto de desempenho excepcional (GRECA ASFALTOS, 2020).

Composição dos pneus inservíveis

As matérias-primas que compõem os pneus são borrachas natural e sintética, negro de carbono, aço, têxteis, e alguns aditivos químicos (FEIO, 2013, p.9 *apud* ANDRADE E ALVES, 2019). O Quadro 01 informa a quantidade em média de cada material que compõem um pneu de veículo de passeio (Goodyear 195/75R14), com massa aproximada de 10kg.

Quadro 01 – Materiais que compõem o pneu Goodyear 195/75R14

Material	Quantidade (kg)
Borracha Sintética	2,50
Borracha Natural	2,00
Negro-de-Fumo	2,50
Aço	0,75
Poliéster e Náilon	0,50
Arames de Aço	0,25
Produtos Químicos	1,50

Fonte: (BERNUCCI *et al.*, 2008) adaptada

Reciclagem e reutilização dos pneus

O descarte inadequado de pneus ainda é muito presente. Mas vale destacar que há pontos de coleta para que o descarte seja feito da maneira correta. No estado de Minas Gerais, a reciclagem de pneus é realizada, dentre outras empresas, pela RECICLANIP juntamente com a prefeitura dos municípios coletores. Esta empresa foi criada em 2007 pelos fabricantes de pneus novos Bridgestone, Goodyear, Michelin e Pirelli e ela segue a resolução nº 416/09 do Conama que dispõe sobre a prevenção à degradação ambiental causada por pneus inservíveis e sua destinação ambientalmente adequada (RECICLANIP, 2019). A Figura 06 apresenta o Ciclo do Pneu, idealizado pela RECICLANIP.

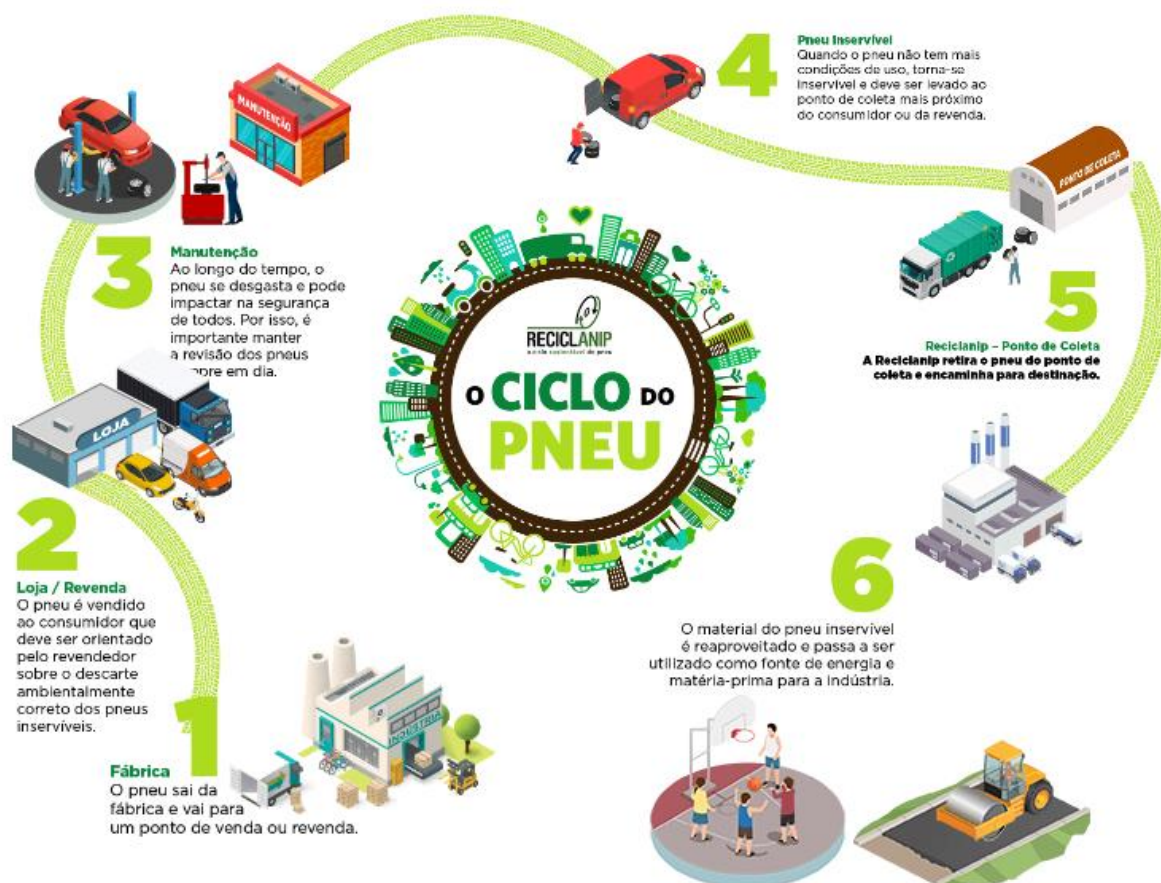


Figura 06 – Ciclo

Fonte: (RECICLANIP, 2020)

Tipos de mistura

Atualmente, as misturas para o asfalto com incremento de resíduos de pneus são alcançadas por meio de diversas técnicas, destacando entre elas, o processo seco e úmido. Cava (2020) afirma que no processo seco, a borracha triturada é adicionada na mistura asfáltica como parte dos agregados da mistura, sendo chamada então de agregado-borracha. É importante salientar que a adição de borracha à mistura modificada no processo seco só deve ser utilizada em misturas asfálticas a quente.

No entanto, a utilização desse procedimento pode vir a prejudicar a passagem de alguns elementos importantes da borracha para o ligante. Ainda assim, se todas as etapas forem bem feitas, a mistura uniforme obtida pode indicar a produção bem-sucedida de uma mistura asfáltica de qualidade (WICKBOLDT, 2005 *apud* SOUZA e MOTA, 2019).

A Figura 07 mostra a adição de borracha à mistura asfáltica realizada por uma pá carregadeira.

Figura 07 – Processo via seco

Fonte: (SINICESP, 2013)

No processo úmido, o Cava (2020) destaca que a borracha triturada é incorporada ao CAP (Cimento Asfáltico de Petróleo) em elevada temperatura. Sendo assim, ocorre uma modificação do ligante asfáltico chamado Asfalto-Borracha, e este pode ser utilizado em serviços de pavimentação. No processo úmido, o pó de pneus representa em geral 15 a 20% da massa de ligante ou menos que 1,5% da massa total da mistura (BERNUCCI *et al.*, 2008).

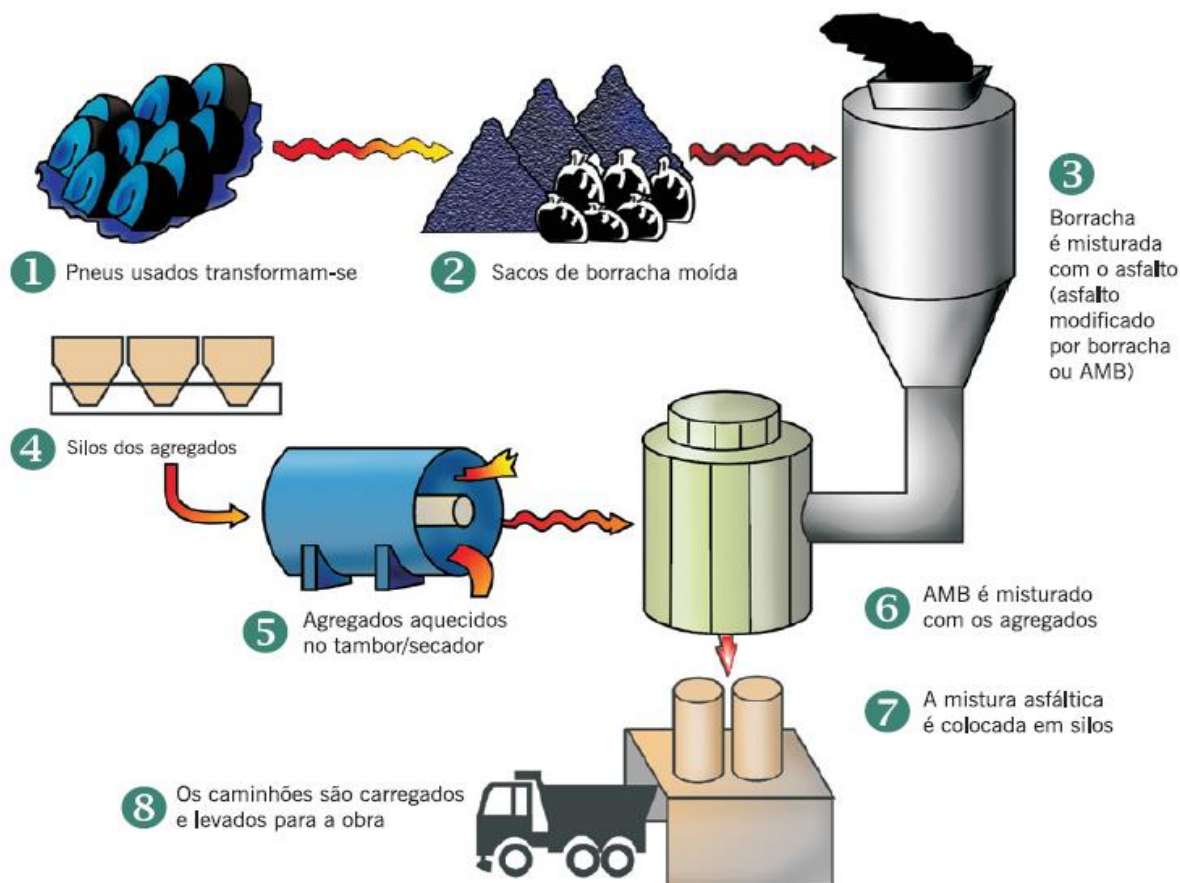
Figura 08 – Processo de separação dos materiais constituintes do pneu de borracha

Fonte: (CATAPRETA *et al.*, 2016)

O processo de fabricação do ligante asfáltico com a inserção de borracha via úmida pode ser estocável ou não. A Greca Distribuidora de Asfaltos Ltda, uma das primeiras empresas a utilizar o asfalto-borracha em rodovias do Brasil, fabrica a mistura pelo sistema úmido, conhecido como Terminal Blending (Figura 09). Neste processo, a produção do ligante é feita em uma fábrica própria, e só depois o asfalto é distribuído para diversas empreiteiras que executam a pavimentação. Para Di Giulio (2007), o processo certifica homogeneidade total das características técnicas e dos materiais na fabricação do asfalto-borracha.

De acordo com Cava (2020), o sistema não-estocável se trata de quando a produção do asfalto modificado é realizada com equipamento misturador na própria obra, e é conhecido como Continuous Blending. Por não apresentar estabilidade e homogeneidade, a mistura deve ser aplicada de imediato após a produção. Bernucci, *et al.*, (2008) corrobora afirmando que o asfalto-borracha realizado pelo processo imediato propicia um inchamento superficial da borracha nos maltenos do CAP, possibilitando a utilização de partículas maiores de borracha e aumento da viscosidade.

Figura 09 – Etapas do processo úmido (Terminal Blending)



Fonte: (BERNUCCI *et al.*, 2008)

Análise comparativa entre o asfalto convencional e o asfalto-borracha

A primeira propriedade para se comparar é em relação ao ligante. O asfalto-borracha tende a ser mais viscoso do que o asfalto convencional, todavia, o ligante de asfalto-borracha não perde a ductibilidade nem acaba se tornando frágil a baixas temperaturas e altas temperaturas (ANDRADE e ALVES, 2019). A Figura 10 mostra uma consistência maior do ligante de asfalto borracha em comparação ao asfalto convencional, o que permite, segundo os autores, diminuir o aparecimento de trincas a baixas temperaturas, e as famosas trilhas de rodas em temperaturas mais elevadas.

Figura 10 – Comparação entre asfalto convencional (a) e asfalto borracha (b)



Fonte: (BERNUCCI *et al.*, 2008)

Outro principal diferencial no uso de borracha em obras rodoviárias, está relacionado ao método de sustentabilidade, já que a restauração e/ou construção de pavimentos com o asfalto-borracha pode chegar a utilizar até mil pneus por km, reduzindo drasticamente o depósito desses pneus em aterros ou até mesmo fora deles (DI GIULIO, 2007). O autor ainda menciona outras vantagens que superam o ganho ambiental, sendo elas: vida útil do pavimento aumentada, retorno elástico elevado, grande resistência à oxidação do pavimento, causador do envelhecimento precoce, resistência às intempéries, e, por fim, maior resistência em relação às deformações plásticas, evitando a formação das indesejáveis trilhas de rodas, mencionadas anteriormente, encontradas em rodovias construídas com o asfalto convencional.

De acordo com a Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos (ANIP), a durabilidade do asfalto-borracha é 40% superior do que o asfalto convencional pois sofre menor deformação e maior elasticidade (CZERWONKA, 2017). Com isso, diminui bastante o desgaste do pavimento e a redução de reparos na rodovia contribuindo com maior fluidez de tráfego de veículos.

Zatarin *et al.* (2017) relata um experimento realizado pela parceria entre a empresa Greca Asfaltos, UFRGS e Consórcio Univias. O experimento, realizado em maio de 2003, se dava em construir duas pistas: a primeira com revestimento de CBUQ - CAP 20 e a segunda com o conhecido asfalto-borracha. A técnica aplicada para conseguir os resultados no menor tempo possível foi a utilização de um simulador de tráfego linear DAER/UFRGS aplicando ensaios acelerados.

Segundo os autores, os resultados alcançados pelo experimento através do simulador de tráfego apresentaram um desempenho muito satisfatório do pavimento quando feito em asfalto-borracha em relação quando utilizado o asfalto convencional. O experimento foi concluído no mês de março de 2005, quando completado os 523.000 ciclos de carga com eixo de 10 tonelada força (tf) em que foram submetidos, e foi

observado que o grau de trincamento do trecho pavimentado com asfalto modificado por borracha mostrou que era muito abaixo e inferior ao grau de trincamento do trecho pavimentado com o ligante CAP 20 convencional.

Souza e Mota (2019), em um experimento com aplicação de asfalto-borracha nas vias urbanas do Bairro Campestre em Monte Carmelo – MG, concluiu que o pavimento apresenta ser mais resistente necessitando de menos manutenção e, de acordo com o SETOP e SINAPI, foi constatado um custo reduzido em comparação ao asfalto convencional, tornando-se mais viável no longo prazo.

Araújo (2015) realizou um estudo em laboratório comparando a resistência entre o asfalto convencional, o asfalto-borracha, e o asfalto modificado por polímero. Os resultados apresentaram o asfalto-borracha com uma resistência 28% superior que a resistência do asfalto convencional e 8,5% maior que o asfalto modificado por polímero, porque, segundo o autor, a borracha adicionada ao ligante possui propriedades elásticas além de elementos em sua composição que aumentam a resistência do asfalto. Ele finaliza afirmando que, por meio dos ensaios realizados, o uso do asfalto-borracha é viável nos aspectos ambientais, econômicos e técnicos.

No entanto, uma desvantagem em relação ao uso do asfalto-borracha está relacionada ao seu processo de fabricação, onde necessita de agitação em alto cisalhamento, o que acaba provocando a emissão de compostos orgânicos totais (Compostos orgânicos voláteis + Aerossóis), sendo alguns destes considerados como cancerígenos (CAVA, 2020). Portanto, o seu processo de fabricação aumenta a emissão de gases de efeito e estufa, aumenta o consumo de combustíveis e pode ser prejudicial para trabalhadores devido a emissão de fumos de asfalto (Figura 11), além de possuir um forte odor (ANDRADE e ALVES, 2019).

Figura 11 – Fumos de asfalto



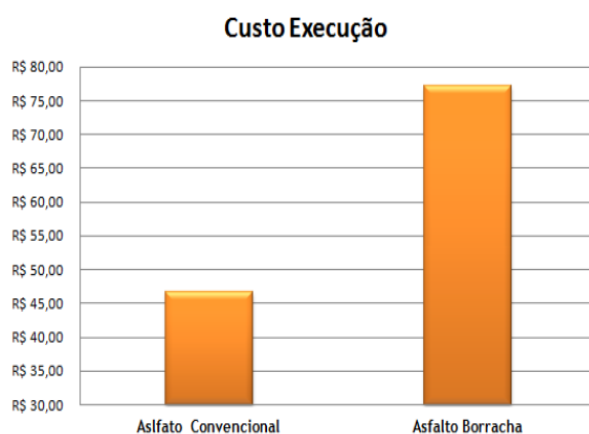
Fonte: (SINICESP, 2013)

Viabilidade econômica

No tocante a viabilidade econômica, Andrade e Alves (2019) relata uma análise feita para um trecho com extensão de 1 km de uma rodovia hipotética em Alagoas. Nesse projeto, o autor conclui que a obra com realizada em asfalto-borracha é 28,46% mais econômica em relação ao CAP 50/70. Isso ocorre porque, quando utilizado o asfalto-borracha, torna-se possível diminuir a espessura do revestimento, obtendo uma maior economia no valor total da obra.

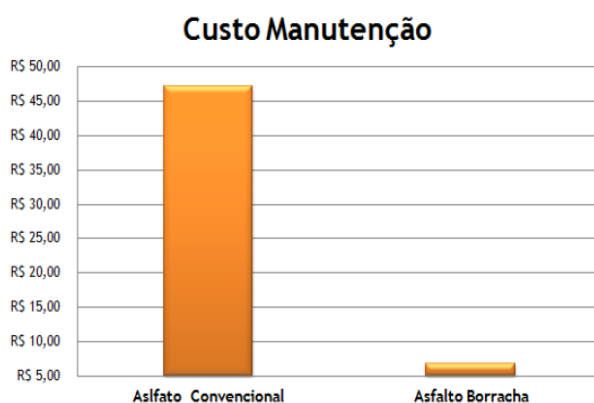
Em um outro estudo de caso, para avaliar a viabilidade financeira do asfalto-borracha, Zatarin *et al.* (2017) escolheram uma rua na cidade de Curitiba construída no ano de 2005 para análise. Em seu trabalho, o autor faz uma comparação dos custos de execução e de manutenção (após 7 anos de uso) obtendo os seguintes gráficos.

Gráfico 01 – Comparação do custo de execução entre o asfalto-borracha e o asfalto convencional



Fonte: (ZATARIN *et al.*, 2017)

Gráfico 02 – Comparação do custo de manutenção entre o asfalto-borracha e o asfalto convencional



Fonte: (ZATARIN *et al.*, 2017)

Os autores concluíram que, após somar os custos da execução e manutenção do trecho analisado, o asfalto convencional teve um custo 11,69% maior neste período de 7 anos.

Utilização do asfalto-borracha no Brasil

A concessionária Ecovia Caminho do Mar, que administra a malha rodoviária que liga Curitiba ao litoral do Paraná, faz o uso do asfalto-borracha desde 2008. No ano de 2016, a empresa relatou que aplicou quase 1,7 mil toneladas de asfalto borracha em obras de pavimentação (ECOVIA, 2017).

Em um relatório apresentado no ano de 2017, a concessionária mostra o percentual de materiais provenientes de reciclagem utilizados na construção e manutenção das vias que estão sob sua responsabilidade. Nota-se, com base no Quadro 02, que a empresa tem adotado o asfalto borracha, dentre outras tecnologias e processos, de maneira significativa em suas obras rodoviárias.

Quadro 02 – Percentual de materiais provenientes de reciclagem

Não renováveis	Unidade	Percentual
Material fresado	Ecocataratas; Ecopistas; Ecoponte; Ecosul e Ecovia	100%
Mistura asfáltica com CAP 50/70	Ecopistas	100%
Mistura asfáltica com CAP borracha	Eco 101	0,74%
Mistura asfáltica com CAP borracha	Ecopistas e Ecovia	100%
Mistura asfáltica com CAP polímero	Ecopistas	100%
Mistura fresado com espuma asfalto em usina	Ecopistas	100%

Fonte: (ECOVIA, 2017) adaptado

A empresa Greca Asfaltos, na construção da via Cambuí (maior obra viária de São José dos Campos-SP), empregou o asfalto-borracha (ECOFLEX) nos 8,6 km de extensão da via. A escolha do asfalto-borracha deveu-se por ele proporcionar uma maior durabilidade e segurança e ainda propor o diferencial sustentável com um ganho ambiental para a cidade. No total, foram utilizadas mais de 630 toneladas de ECOFLEX B na execução da pavimentação das vias (GRECA ASFALTOS, 2020).

No estado de Minas Gerais, o DER-MG (Departamento de Estradas de Rodagem), em 2009, através do Programa PROMG, realizou uma obra de restauração dos trechos da MG-173 (22 km de extensão) e MG-158 (29,3 km de extensão) utilizando o asfalto-borracha (ECOFLEXPAVE - adição de 15% de pó de borracha. As rodovias restauradas estão localizadas no Sul de Minas, região do Circuito das Águas. É importante destacar que o Programa PROMG Pleno baseia-se no uso de asfalto-borracha em rodovias que apresentam alto volume de tráfego, elevada deformabilidade elástica do pavimento, rampas fortes e curvas com raios pequenos (GRECA ASFALTOS, 2020).

Outra via que foi utilizada o asfalto-borracha, foi a obra de restauração da Avenida Beira Mar Norte, em Florianópolis, capital de Santa Catarina (Figura 12). A avenida foi recapeada em um trecho de 5 km com o ECOFLEX (asfalto-borracha) proporcionando um aumento na vida útil, além de diminuir o nível de ruído proveniente do tráfego. Na Usina Hidrelétrica de Itaipu (Figura 13) foram utilizadas também o asfalto-borracha para pavimentar 21 km de vias internas da usina, fazendo o uso de, aproximadamente, 21.000 pneus inservíveis (GRECA ASFALTO, 2020; SOUZA e MOTA, 2019).

Figura 12 – Avenida Beira Mar Norte, Florianópolis-SC

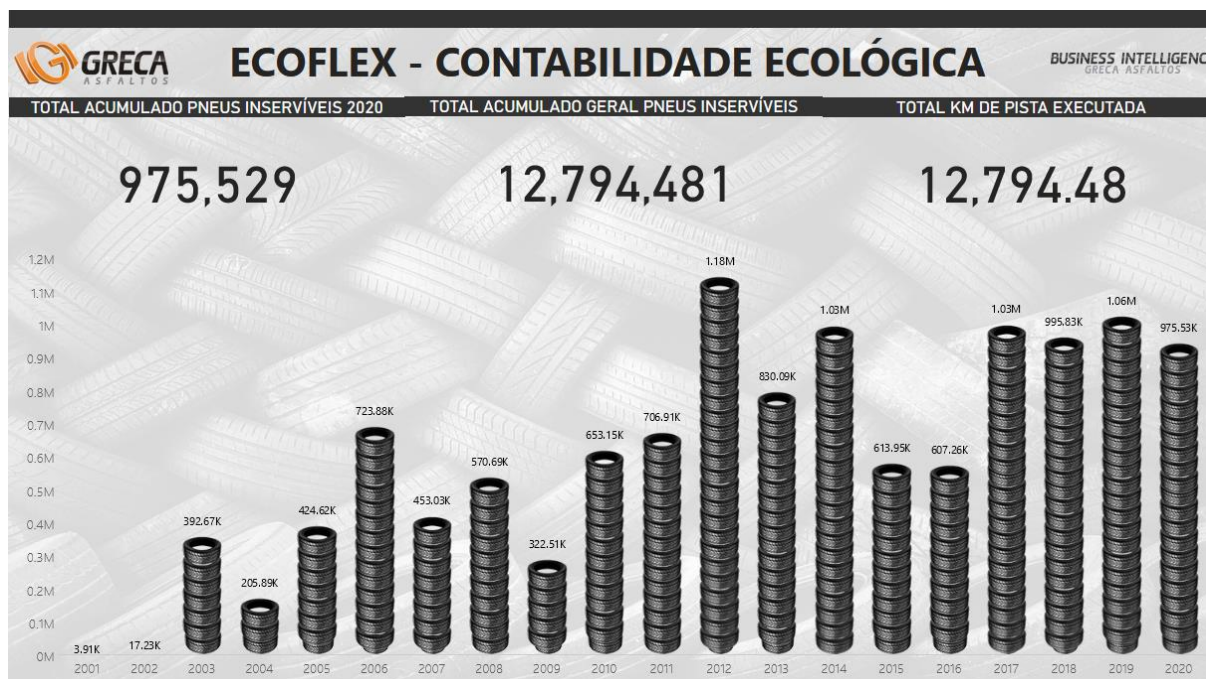


Fonte: (GRECA ASFALTOS, 2020)

Figura 13 – Usina de Itaipu

Fonte: (GRECA ASFALTOS, 2020)

Mesmo sendo provado que o asfalto-borracha é uma tecnologia com durabilidade até 5x superior ao asfalto comum, ele ainda não tem sido muito utilizado no país. No entanto, a empresa Greca Asfaltos vem utilizando essa tecnologia desde 2001 e alcançou números impressionantes apresentados no Gráfico 03 disponibilizado em seu site. Vale ressaltar que o impacto positivo para cada km de pavimento é enorme em se tratando do asfalto ecológico, pois é utilizado o pó de borracha de cerca de 1.000 de pneus, cálculo este que leva em consideração uma pista com duas faixas de 3,5m de largura cada (GRECA ASFALTOS, 2020).

Gráfico 03 – Quantidade de pneus inservíveis utilizados desde 2001 pela Greca Asfaltos

Fonte: (GRECA ASFALTOS, 2020)

Legislação

Em 26 de agosto de 1999 foi publicada a primeira Resolução CONAMA que trata sobre a destinação final dos pneumáticos. Essa Resolução nº 258, determinava que as empresas fabricantes e as importadoras de pneus ficariam obrigadas a coletar e dar destinação final ambientalmente adequada aos pneus inservíveis. Desde então, empresas como a Goodyear e Michelin ficaram obrigadas a coletar e dar destinação final dos pneumáticos inservíveis, o que resultou na criação da RECICLANIP, mencionada anteriormente.

Sabe-se que a Resolução nº 258 do CONAMA foi revogada por outra Resolução do mesmo órgão, de número 416/2009, que agora dispõe sobre a prevenção à degradação ambiental causada pelos pneus inservíveis e sua destinação ambientalmente adequada, e ainda dá outras providências. A resolução deixa claro que a simples transformação dos pneus em pedaços de borracha não é considerada destinação final de pneus inservíveis, e o descumprimento da meta estipulada de destinação, além de acarretar acúmulo de obrigação para o período posterior, poderá ser aplicado sanções cabíveis (CONAMA).

No Estado de Minas Gerais, desde 14 de janeiro de 2010, está em vigor a Lei Estadual nº 18.719/2010 que prevê a reciclagem dos pneus para a produção de asfalto-borracha (ALMG). Em 2011, o Deputado Federal Weliton Prado, citando a iniciativa do governo mineiro referente à Lei Estadual nº 18.719/2010, criou o Projeto de Lei nº 132-C, de 2011, que propõe alterações na Lei nº 9.503, de 1997 (Código de Trânsito Brasileiro), para estabelecer o emprego do asfalto-borracha como diretriz na pavimentação de vias públicas (CÂMARA FEDERAL).

Materiais e Métodos

Para realização do trabalho, foi realizado uma pesquisa e estudo em livros, artigos, relatórios e revistas concernente sobre as técnicas de incorporação das borrachas proveniente de pneus inservíveis ao ligante asfáltico (caracterização do processo úmido e caracterização do processo seco) precedido de um breve histórico sobre o tema. Na revisão bibliográfica foram observadas questões relacionadas à viabilidade econômica, sustentabilidade e qualidade do asfalto-borracha, realizando uma análise comparativa com o asfalto convencional por meio de um estudo de caso.

Estudo de caso: Asfalto Convencional x Asfalto Borracha

A proposta de estudo teve como foco comparação no que tange a parte de custos e orçamentação para execução da pavimentação de uma determinada via utilizando o CBUQ Convencional e o CBUQ Modificado por Borracha (Asfalto-Borracha). Para o estudo de caso, foi utilizado a obra que a Prefeitura Municipal de Paracatu-MG está realizando na Avenida Ladeira dos Farias, próximo a UniAtenas e a APAC. Esta obra se dá na duplicação de aproximadamente 750 metros de extensão da referida via.

Figura 14 – Duplicação da Avenida Ladeira dos Farias



Fonte: (AUTOR, 2020)

De acordo com a Secretaria de Obras da Prefeitura, a pavimentação está sendo realizada com CBUQ convencional CAP 50/70.

Figura 15 – Máquinas trabalhando na pavimentação da Avenida Ladeira dos Farias



Fonte: (AUTOR, 2020)

Para efeito de comparação foi utilizado os seguintes dados indicados no Quadro 3. Vale ressaltar que, segundo Greca Asfaltos (2009), estudos nacionais e internacionais comprovam que a espessura do revestimento pode ser reduzida em até 50%. Sabendo disto, foi reduzido a espessura do revestimento de asfalto-borracha 30% em relação ao asfalto convencional.

Quadro 3 – Dados para efeito de comparação

DADOS	CBUQ	ASFALTO-BORRACHA
Espessura	5 cm	3,5 cm
Extensão	750 m	750 m
Largura	5 m	5 m
Densidade	2,34 t/m ³	2,34 t/m ³

Fonte: (AUTOR, 2020)

Convertendo as unidades de cada dado em metros e multiplicando logo em seguida os valores, encontra-se a quantidade de massa asfáltica a ser utilizada na pavimentação, em tonelada, para cada tipo de revestimento. O Quadro 4 a seguir consta o resultado da operação descrita anteriormente.

Quadro 4 – Quantidade de massa asfáltica (CBUQ Convencional e Asfalto-Borracha)

MATERIAL	CÁLCULO	TOTAL (toneladas)
CBUQ	750 m x 5 m x 0,05 m x 2,34 t/m ³	438,75
ASFALTO-BORRACHA	750 m x 5 m x 0,035 m x 2,34 t/m ³	307,12

Fonte: (AUTOR, 2020)

Para os custos unitários de referência, foram utilizados os dados da Tabela SETOP (Secretaria de Estado de Transportes e Obras Públicas de Minas Gerais, da Região Triângulo e Alto Paranaíba) referência de setembro/2020. Foram coletados os insumos de CBUQ (Faixa C) e CBUQ modificado por borracha (Faixa C) incluindo execução, usinagem, aplicação, espalhamento, compactação e fornecimento dos agregados (Quadro 5).

Quadro 5 – Referencial de Preços unitários

CÓDIGO	DESCRIÇÃO	UNID.	CUSTO
RO-41177	CBUQ CAP 50/70	ton	211,70
RO-43829	CBUQ Modificado por Borracha	ton	224,10

Fonte: (SETOP, 2020) adaptado

O CBUQ Faixa C é um tipo de pavimento indicado para a fabricação de camada de rolamento (capa asfáltica) pois apresenta determinadas características e granulometria que o tornam ideais em vias urbanas e rodovias.

O Quadro 6 foi elaborado conforme manual encontrado em Greca Asfalto (2009) e para encontrar o valor final da obra foi adotado as seguintes premissas:

- CAP-50/70 - R\$1.150,00/tonelada;
- Asfalto Borracha - R\$1.550,00/tonelada;
- Não incluem frete
- Teor de ligante CAP-50/70 - 5,75%
- Teor de ligante Asfalto Borracha – 6,70%

Quadro 6 – Descrição de Custos

	DADOS	CALC.	UND.	CAP 50/70	ASFALTO-BORRACHA
1	Qtd. de massa asfáltica CBUQ (produzida)	-	ton	438,75	307,12
2	Custo de Usinagem/ Aplicação por tonelada de CBUQ aplicado	-	R\$/ton	211,70	224,10
3	Qtd. De massa x custo de usinagem/ aplicação	1x2	R\$	92.883,38	68.825,59
4	Teor do ligante	-	%	5,75	6,70
5	Custo de asfalto por tonelada	-	R\$/ton	1.150,00	1.550,00
6	Custo do asfalto no CBUQ	1x4x5	R\$	29.012,34	31.894,41
7	Custo da obra	3+6	R\$	121.895,72	100.720,00

Fonte: (AUTOR, 2020)

Pode-se analisar a redução de custo utilizando o asfalto-borracha em vez do CBUQ convencional (Quadro 7) aplicando a seguinte equação:

$$\% \text{Redução de Custo} = ((\text{Custo total com CAP 50/70} - \text{Custo total com asfalto-borracha}) / (\text{Custo total com CAP 50/70})) * 100$$

$$\% \text{Redução de Custo} = ((121.895,72 - 100.720,00) / (121.895,72)) * 100$$

Quadro 7 – Redução de Custo

Redução de Custo quando utilizado o CBUQ com Asfalto-Borracha no lugar do CAP 50/70	%	R\$
	17,37	21.175,71

Fonte: (AUTOR, 2020)

Conclusão

Pelos resultados encontrados, percebe-se a enorme vantagem de se utilizar o asfalto-borracha em obras rodoviárias. O Quadro 7 apresenta o percentual de redução de custo de 17,37% ao utilizar essa tecnologia no lugar do CBUQ CAP 50/70.

Como mencionado anteriormente, a possibilidade de diminuir a espessura do revestimento faz com que obtenha uma considerável economia no custo total da obra. Além disso, estudos como o de Zatarin *et al.* (2017) e de Souza e Mota (2019) comprovam que a aplicação dessa tecnologia em pavimentação reduz de maneira significativa os custos com manutenção, pois o asfalto-borracha mostra ser mais resistentes a trincas e trilhas de rodas.

Desde 2001 empresas fazem o uso do asfalto-borracha na construção e reforma da malha rodoviária no Brasil, e isso tem causado um grande impacto ambiental de forma positiva. A realização deste trabalho leva a conclusão que o uso da borracha moída de pneus inservíveis no ligante asfáltico apresenta ser um processo viável e satisfatório, não só no Estado de Minas Gerais, mas em todo território nacional.

As vantagens encontradas na utilização desse tipo de asfalto foram diversas, entre elas tem-se uma maior vida útil do pavimento, retorno elástico elevado, grande resistência à oxidação do pavimento causando envelhecimento precoce, resistência às intempéries, resistência superior em relação às deformações plásticas, menos manutenção e menor custo de fabricação e de execução.

Portanto, a ideia e utilização do asfalto-borracha deve ser ainda mais difundida e praticada pelas empresas e concessionárias na pavimentação de rodovias devido, de modo geral, mostrar ser um revestimento mais econômico e com melhores propriedades.

Agradecimentos

Quero agradecer primeiramente a Deus por me conceder a oportunidade e força de chegar até aqui mesmo com as diversas dificuldades encontradas no meio do caminho. Agradeço à minha esposa, meus pais e irmãos que tiveram paciência e sempre me deram apoio nessa jornada acadêmica.

Agradeço também ao orientador que me ajudou a dar mais esse passo na minha vida profissional. Agradeço aos professores pela dedicação no ensino e pela disposição de sempre querer ajudar.

Referências:

- ALMG. **Lei nº 18.719, de 13 de janeiro de 2010. Legislação Mineira.** Disponível em: <<https://www.almg.gov.br/consulte/legislacao/completa>>. Acesso em: 17 Novembro 2020.
- ANDRADE, G. A. G. D.; ALVES, M. D. A. **Estudo Comparativo Técnico, Econômico e Ambiental entre o Asfalto-Borracha e o Asfalto Convencional.** Maceió. 2019.
- ANTT. **Relatório Final Asfalto Borracha,** 2017. Disponível em: <http://www.antt.gov.br/backend/galeria/arquivos/Relat_FINAL_AsfaltoBorr_DEZ17.pdf>. Acesso em: 27 Outubro 2020.
- ARAÚJO, D. H. **Análise Comparativa do Asfalto Borracha com o Asfalto Convencional e o Asfalto com Adição de Polímeros.** UNIFOR. Formiga. 2015.
- BERNUCCI, L. B. et al. **Pavimentação Asfáltica: Formação básica para engenheiros.** Rio de Janeiro: PETROBRAS: ABEDA, v. 1, 2008.
- CÂMARA DOS DEPUTADOS. **Projeto de Lei 132/2011. Portal da Câmara.** Disponível em: <<https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/fichadetramitacao?idProposicao=49112>>. Acesso em: 14 Novembro 2020.
- CATAPRETA, C. A. A.; ZAMBIASI, C. A.; LOYOLA, L. A. D. J. **O Uso da Borracha de Pneus na Pavimentação como uma Alternativa Ecologicamente Viável.** VII Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, 24 Novembro 2016.
- CAVA, F. **O Asfalto Borracha é um Asfalto Ecológico?.** Além da Inércia, 2020. Disponível em: <<https://alemdainercia.com/2020/02/10/o-asfalto-borracha-e-um-asfalto-ecologico/>>. Acesso em: 18 Outubro 2020.
- CONAMA - CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE. **Resoluções e outros atos.** Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/>>. Acesso em: 18 Novembro 2020.
- CZERWONKA, M. **Asfalto ecológico melhora conforto e segurança nas estradas.** Portal do Trânsito, 2017. Disponível em: <<https://portaldotransito.com.br/noticias/urbanismo/asfalto-ecologico-melhora-conforto-e-seguranca-nas-estradas/>>. Acesso em: 28 Setembro 2020.

DI GIULIO, G. **Vantagens ambientais e econômicas no uso de borracha em asfalto.** Reciclagem, Campinas, 3, n. 3, 2007. 12-15.

DNIT. **Manual de Pavimentação.** 3. ed. Rio de Janeiro: IPR, 2006.

DRUMOND, B. H. G.; FIGUEIREDO, R. B. **Utilização de Resíduos de Borracha em Pavimentações Asfálticas Ecológicas.** Belo Horizonte. 2012.

ECOVIA. **Relatório de Sustentabilidade.** São Paulo. 2017.

GRECA ASFALTOS. **Linha ECOFLEXPAVE.** Publicações, 2009. Disponível em: <http://grecaasfaltos.com.br/wp-content/conteudos/publicacoes-greca/estudo-ecoflex_pesquisas-avaliacao-economica-financeira-apelo-ecologico-asfalto-ecologico.pdf>. Acesso em: 20 Novembro 2020.

GRECA ASFALTOS. **Grupo GRECA Asfaltos. Desde 1959, mais de 60 anos de história.** 2018. Disponível em: <<http://www.grecaasfaltos.com.br/nossa-historia/>>. Acesso em: 2 Novembro 2020.

GRECA ASFALTOS. **Fatos & Asfaltos. Blog,** 2020. Disponível em: <<http://blog.grecaasfaltos.com.br/>>. Acesso em: 25 Outubro 2020.

JIMÉNEZ, F. E. P. **Manual de Pavimentação.** 3. ed. Barcelona: CEPESA, 2014.

RECICLANIP. **Ciclo do Pneu. RECICLANIP,** 2020. Disponível em: <<https://www.reciclanip.org.br/formas-de-destinacao/ciclo-do-pneu/>>. Acesso em: 6 Novembro 2020.

RECICLANIP. **Responsabilidade pós consumo. RECICLANIP,** 2020. Disponível em: <<https://www.reciclanip.org.br/quem-somos/institucional/>>. Acesso em: 6 Novembro 2020.

SENÇO, W. **Manual de Técnicas de Pavimentação.** PINI. São Paulo, p. 147. 1997.

SETOP. **Preços Secretaria de Estado de Transportes e Obras Públicas de Minas Gerais.** Referência Setembro/2020, Região Triângulo e Alto Paranaíba, 2020.

SILVA, J. E. M. D.; CARNEIRO, L. A. V. **Pavimento de Concreto: Histórico, Tipos e Modelos de Fadiga.** Revista Militar de Ciência e Tecnologia, Rio de Janeiro, p. 14-33, 2014.

SILVA, L. S. et al. **Análise comparativa entre as técnicas construtivas de pavimentação empregadas no sistema Bus Rapid Transit (BRT) - Belém - PA versus Fortaleza - CE.** Revista de Ciência e Tecnologia, Pará, v. 4, n. 6, 2018. ISSN 2447-7028.

SINICESP. Do Pneu à Estrada. **Benefícios da utilização de borracha granulada em obras públicas,** 2013. Disponível em: <<http://www.sinicesp.org.br/materias/2013/bt08a.htm>>. Acesso em: 28 Outubro 2020.

SOUZA, L. D. F.; MOTA, K. R. R. **Estudo Comparativo da Viabilidade do Asfalto Convencional e o Asfalto-Borracha nas Vias Urbanas do Bairro Campestre em Monte Carmelo-MG.** Monte Carmelo. 2019.

ZATARIN, A. P. M. et al. **Viabilidade da Pavimentação com Asfalto-Borracha.** Gestão Ambiental, Florianópolis, 5, n. 2, Março 2017. 649-674.