



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA BAHIA
Campus Salvador

DIRETORIA DE ENSINO DO CAMPUS SALVADOR
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO TÉCNICO INTEGRADO EM EDIFICAÇÕES

GUSTAVO HENRIQUE PEREIRA BARBOSA
RAFAEL MORAES DE ANDRADE

**ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DA UTILIZAÇÃO DO ASFALTO DE
BORRACHA DE PNEUS NO BRASIL**

SALVADOR-BA
2023

GUSTAVO HENRIQUE PEREIRA BARBOSA
RAFAEL MORAES DE ANDRADE

**ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DA UTILIZAÇÃO DO ASFALTO DE
BORRACHA DE PNEUS NO BRASIL**

Trabalho de Conclusão de Curso do curso técnico
integrado em Edificações como requisito para
obtenção do título de técnico em edificações.

Orientador: Prof. Dr. Adriano Silva Fortes

SALVADOR-BA

2023

**FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELO SISTEMA DE BIBLIOTECAS DO
IFBA, COM OS DADOS FORNECIDOS PELO(A) AUTOR(A)**

B238 Barbosa, Gustavo Henrique Pereira

Análise de viabilidade econômica da utilização do asfalto de borracha de pneus no Brasil/Gustavo Henrique Pereira Barbosa; Rafael Moraes de Andrade; orientador prof. Dr. Adriano Silva Fortes -- Salvador : IFBA, 2023.

22 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (TÉCNICO EM EDIFICAÇÕES) -- Instituto Federal da Bahia, 2023.

1. Asfalto. 2. Borracha. 3. Pneus. 4. Pavimento. I. Andrade, Rafael Moraes de, colab. II. Fortes, Prof. Dr. Adriano Silva, orient. III. TÍTULO.

CDU 69

AGRADECIMENTOS

A Deus pela saúde e força para executar o trabalho.

Aos nossos pais pelo incentivo incondicional, pilar para nosso desenvolvimento.

Ao professor Adriano Silva Fortes, pelo auxílio técnico e disposição de tempo para nossa orientação em todos os momentos.

Aos nossos amigos, pelo apoio e companhia ao longo da jornada.

RESUMO

Este trabalho tem como intuito explorar a capacidade do asfalto de borracha de pneus como uma opção mais econômica e benéfica para o meio ambiente. Nele é observado o problema do descarte dos pneus de forma indevida na natureza e analisado o processo de obtenção do ligante asfáltico com a adição da borracha finamente moída dos pneus. Para a realização desse estudo, foi necessário observar as necessidades que o país passa com relação a qualidade de pavimentação, que demonstra grandes demandas no quesito segurança e manutenção. A partir disso, é analisado o impacto que o asfalto de borracha de pneus gera na durabilidade e resistência do pavimento, além de outras características importantes conferidas, como maior aderência e permeabilidade. Diante de tudo, o estudo verificou que o asfalto de borracha de pneus possui um custo de implementação maior do que o pavimento convencional, porém, por possuir uma necessidade consideravelmente menor de manutenção ao longo do tempo, a economia gerada pode ser muito benéfica para as cidades brasileiras, além dos ganhos no meio ambiente, com a destinação proveitosa dos pneus e da qualidade das vias.

Palavras-chave: Asfalto; borracha; Pneus; Pavimento.

ABSTRACT

This work aims to explore the capacity of tire rubber asphalt as a more economical and environmentally beneficial option. It observes the problem of improperly disposing of tires in nature and analyzes the process of obtaining the asphalt binder with the addition of finely ground rubber from the tires. To carry out this study, it was necessary to observe the needs that the country faces in relation to the quality of paving, which demonstrates great demands in terms of safety and maintenance. From this, the impact that tire rubber asphalt generates on the durability and resistance of the pavement is analyzed, in addition to other important characteristics conferred, such as greater grip and permeability. Overall, the study found that tire rubber asphalt has a higher implementation cost than conventional pavement, however, as it requires considerably less maintenance over time, the savings generated can be very beneficial for Brazilian cities, in addition to environmental gains, with the beneficial disposal of tires and the quality of roads.

Keywords: Asphalt; rubber; Tires; Floor.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	6
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	8
2.1. PAVIMENTO	9
2.2. LIGANTES ASFÁLTICOS.....	10
2.2.1. ASFALTOS NATURAIS	10
2.2.2. CIMENTO ASFÁLTICO DE PETRÓLEO (CAP)	11
2.3. ASFALTOS MODIFICADOS.....	12
2.3.1. ASFALTO MODIFICADO PELA BORRACHA DE PNEU	14
2.3.2. PROCESSO DE ADIÇÃO DA BORRACHA DE PNEU.....	16
2.3.2.1. PROCESSO ÚMIDO	16
2.3.2.1. PROCESSO SECO.....	17
3. VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA.....	17
4. ANÁLISE EXPERIMENTAL	19
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	20
REFERÊNCIAS.....	22

1. INTRODUÇÃO

Ao longo do tempo, a utilização de veículos terrestres, tanto para mobilidade urbana como transporte de cargas pesadas, aumentou consideravelmente. Com isso, tornou-se imprescindível a realização de estudos para identificar novas formas e melhorias nos pavimentos para suportar as elevadas cargas dos caminhões existentes atualmente. Entende-se por pavimento uma estrutura formada por múltiplas camadas, destinada a resistir aos esforços verticais dos veículos e condições climáticas do local, com o intuito de melhorar as condições de rolamento em relação ao conforto e segurança e resistir aos esforços horizontais (SENÇO, 2007). Pode-se ainda, definir pavimento como uma estrutura formada pela junção de diferentes materiais compactados, com a finalidade de atender estrutural e operacionalmente o tráfego, de maneira durável e ao mínimo custo possível (BALBO, 2007).

Um dos tipos de pavimentação criado é o pavimento flexível, que é o principal nas rodovias de todo o Brasil. O pavimento flexível é composto por uma mistura de ligante asfáltico e agregados. Esse revestimento asfáltico é sobreposto às camadas de base, sub-base e reforço do subleito. Atualmente o pavimento flexível é conhecido como pavimento asfáltico, no qual o revestimento é uma mistura asfáltica e as camadas de base e sub-base podem ter diversas opções de materiais constituintes, desde uma camada composta por materiais cimentícios até uma camada granular.

No Brasil, o principal ligante asfáltico utilizado na pavimentação rodoviária é o cimento asfáltico de petróleo - CAP, o qual é obtido e produzido em sistemas de refino de petróleo. Segundo a confederação nacional do transporte (CNT), a malha rodoviária brasileira não possui condições de qualidade tanto quanto ao desempenho, quanto à segurança e à economia. A qualidade do pavimento está estabilizada com aproximadamente 55% de regular/ruim/péssimo desde 2004 (BERNUCCI et al., 2010).

Mas, com o avanço das tecnologias e constante melhoria na pavimentação, buscando conferir mais resistência, durabilidade e propriedades desejadas ao asfalto, foram desenvolvidos os asfaltos modificados. Um desses é o asfalto de borracha, o qual é obtido a partir da reutilização da borracha dos pneus, tratada e finamente moída ou em pó, unida ao concreto asfáltico de petróleo (CAP) aquecido em reatores específicos. Segundo a Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos (ANIP)

esse tipo de ligante é muito interessante por fornecer propriedades importantes ao pavimento, como maior durabilidade e aderência dos pneus ao solo, o que é de suma importância. Além disso, há o fator sustentável com a reutilização dos pneus.

No Brasil, conforme dados divulgados pela SEST SENAT, são descartados anualmente aproximadamente 450 mil toneladas de pneus (ou 90 milhões de unidades de pneus para carros de passeios). O descarte incorreto desses materiais pode acarretar sérios problemas ao meio ambiente e à saúde pública. Portanto, é necessária uma solução para a devida destinação desses pneus (BERTOLLO, et. al: 2000).

A reutilização de materiais descartados confere uma característica ecológica ao asfalto obtido a partir da borracha dos pneus. A utilização desse asfalto demonstra uma ótima ferramenta nesse sentido, pois coloca em prática a utilização de uma técnica com resultados satisfatórios e, ao mesmo tempo, confere sustentabilidade. O que ajuda a equilibrar os impactos da construção civil no mundo, visto que, existe um uso excessivo dos recursos naturais não renováveis, como por exemplo os agregados que compõem a pavimentação das vias. “O macrocomplexo da construção civil é um dos maiores consumidores de matérias-primas naturais. Estima-se que a construção civil utiliza algo entre 20 e 50% do total de recursos naturais consumidos pela sociedade” (SJÖSTRÖM, 1992 apud TICIANI, 2005, p. 12).

Com isso, nota-se a necessidade de reverter o cenário de degradação do meio ambiente e, ao mesmo tempo, melhorar a qualidade da malha rodoviária brasileira. Então, a utilização do asfalto obtido a partir da borracha de pneu pode ser uma ótima solução por conta das suas vantagens testadas e comprovadas perante a outros tipos de ligantes asfálticos e sua característica ecológica. Mas, para que haja a ampliação da introdução desse pavimento na malha rodoviária do país, faz-se necessário analisar o seu potencial econômico em relação aos asfaltos convencionais. Levando em consideração características importantes como a resistência e durabilidade dos tipos de asfalto, considera-se comparar os custos de implementação e economia dos diferentes tipos de ligantes.

Este trabalho foi motivado pela possibilidade da introdução do uso do asfalto na pavimentação rodoviária, fabricado a partir de borracha dos pneus descartados, trará benefícios às cidades, tanto no sentido de sustentabilidade quanto em ganhos de

qualidade na pavimentação e principalmente no custo de manutenção, o que pode significar uma vantagem econômica em relação ao asfalto convencional.

Nesse contexto, o objetivo do presente trabalho é analisar o custo de implementação e viabilidade econômica do asfalto de borracha de pneus.

Também se descreve o processo de obtenção do asfalto modificado a partir da adição da borracha dos pneus; realiza-se uma análise comparativa dos custos para implementação do asfalto com adição da borracha de pneus comparado com o asfalto convencional e apresenta-se a economia obtida pela implementação do asfalto de borracha de pneus nas cidades.

Para atingir esses objetivos o trabalho foi realizado a partir de uma pesquisa bibliográfica. De acordo com GIL (2008) esse modelo de pesquisa ocorre quando há utilização de fontes e materiais bibliográficos que foram desenvolvidos anteriormente, portanto o embasamento em artigos científicos, livros e outros materiais constituirá um papel fundamental para a pesquisa. Ao adotar esse método e buscando fontes literárias e periódicos originais para não correr o risco de cometer equívocos, o estudo terá o objetivo de analisar quais seriam as mudanças provenientes da adição da borracha dos pneus na pavimentação e qual o impacto econômico ao longo dos anos.

Além disso, a pesquisa se sustentará em investigar documentos. Apesar de ser semelhante ao caráter bibliográfico, nota-se segundo GIL (2008) que essa classe de pesquisa documental remete a informações extraídas de documentos não muito analisados, podendo conter materiais um tanto quanto desconhecidos proporcionando uma ótica mais ampla sobre o assunto, que no caso é a implementação da borracha de pneu no asfalto das cidades do Brasil.

Por meio da coleta de dados fornecidos pelas pesquisas bibliográficas e documentais, a sintetização de resultados ajudará a promover uma análise comparativa, dentre outras coisas, entre o asfalto convencional e o asfalto modificado devido a adição da borracha de pneus. A partir dos conhecimentos obtidos apresentam-se as vantagens, desvantagens, semelhanças e diferenças e os benefícios econômicos às cidades brasileiras que optarem pela utilização do asfalto de borracha de pneus.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. PAVIMENTO

A necessidade de escoamento e mobilidade entre diferentes regiões ao longo do tempo levou a criação de caminhos e estradas, as quais precisaram ser cada vez mais aprimoradas com o intuito de garantir a mobilidade em qualquer época, com a maior qualidade e acessibilidade possível. Com isso, pavimento pode ser definido como uma estrutura construída sobre um leito de terra, natural ou terraplanado, com finalidades técnicas e econômicas que garantam o conforto e a segurança da via. Para isso, é necessário que o pavimento seja planejado e executado para resistir a distribuição de esforços verticais e horizontais, oriundos do tráfego e desgastes. A forma como um pavimento resiste a esses fenômenos e a capacidade de duração perante os diversos fatores que influenciam no desgaste da camada de rolamento são fatores essenciais para um pavimento de qualidade. (WLASTERMILER, SENÇO).

O material a ser utilizado em uma obra de pavimentação pode variar por diversos fatores. É preciso avaliar as características do solo, as condições a que o pavimento deverá resistir, como funciona a drenagem do local, a disponibilidade de orçamento e quais os tipos de cargas ou situações a estrada irá sofrer. Esses estudos irão gerar resultados que possibilitarão a identificação do melhor tipo de pavimento e a técnica ideal para o projeto de pavimentação daquela região, a fim de atingir condições de rolamento de qualidade e propriedades importantes como durabilidade, resistência e outras características desejáveis, a depender da situação (SENÇO).

Os pavimentos podem ser classificados como: flexíveis, semirrígidos ou rígidos.

Flexíveis: Quando há deformação elástica significativa em todas as camadas sob o carregamento aplicado, com isso, a carga se distribui de forma aproximadamente equivalente entre as camadas, começando pela base, passando pela sub-base e reforço do subleito. (DNIT, 2006)

Semirrígidos: Como alternativa intermediária, possui um pouco mais de rigidez devido à presença de uma base cimentada por algum aglutinante com propriedades cimentícias que é revestida por uma camada flexível. (DNIT, 2006)

Rígidos: Seu revestimento é caracterizado pela elevada inflexibilidade quando comparado as camadas inferiores, com isso, absorve toda carga aplicada. (DNIT,2006)

2.2. LIGANTES ASFÁLTICOS

Os ligantes asfálticos são materiais aglutinantes de cor marrom ou preta e elevada viscosidade. São derivados do petróleo, com propriedades impermeabilizantes e adesivas, não volátil, composto por asfaltenos, resinas e hidrocarbonetos de natureza aromática, solúveis em tricloroetileno e obtido por refinação de petróleo (PETROBRAS). O componente de maior predominância nos asfaltos é o betume (99,5%), que é uma substância aglutinante escura composta principalmente por hidrocarbonetos de alto peso molecular, totalmente solúvel em dissulfeto de carbono. Também chamados de asfalto, cimentos asfálticos ou materiais asfálticos, os ligantes possuem uma alta variação de aplicabilidade por conta de suas propriedades, podendo ser utilizado na construção civil para impermeabilização e, principalmente, para a pavimentação de ruas e estradas (ROBERTS et al., 1998).

Os habitantes do vale dos Eufrates já utilizavam o asfalto como material de construção e embalsamento de múmias há cerca de 3.500 a.C. Para a construção de estradas era utilizado como cimento para ligação entre os blocos de pedra. Os egípcios já utilizavam os materiais betuminosos na impermeabilização das múmias e os gregos fabricavam armas de guerra. Por volta de 1800, os materiais betuminosos passaram a ser utilizados em pavimentação, ainda sob a forma de rocha asfáltica. (SENÇO).

O asfalto pode ser encontrado na natureza em seu estado natural ou também pode ser obtido a partir da refinação do petróleo: asfalto natural (AN) ou Asfalto de petróleo (AP).

2.2.1. ASFALTOS NATURAIS

O asfalto natural foi o primeiro a ser utilizado pelos homens na natureza, justamente por conta da sua disponibilidade na natureza. Os asfaltos são provenientes de “lagos” formados a partir de depósitos de petróleo que migraram para a superfície, e após processos naturais de perda de outras frações, como a ação do sol e dos ventos, que retiram gases e óleos mais leves, deixando apenas um resíduo muito duro, resultaram em um produto que contém betume e, eventualmente, materiais minerais, o asfalto natural. (BERNUCCI et al., 2008). Existem duas grandes jazidas de asfalto natural em

forma de lagos, localizadas em Trinidad e na Venezuela. As primeiras pavimentações asfálticas no Brasil empregaram asfalto natural, importado de Trinidad, em barris, nas ruas do Rio de Janeiro em 1908 (Prego, 1999).

Além de poder ser encontrado na natureza a partir dos depósitos de petróleo migrados para a superfície, O asfalto também pode aparecer impregnado nos poros de algumas rochas (Gilsonita) e também misturado com impurezas minerais (areias e argilas) em quantidades variáveis. Um exemplo é o xisto betuminoso.

2.2.2. CIMENTO ASFÁLTICO DE PETRÓLEO (CAP)

Entretanto, com o desenvolvimento da indústria do petróleo, o uso do asfalto natural foi perdendo espaço e cedeu lugar a utilização dos asfaltos de petróleo (CAP). O cimento asfáltico de petróleo é um produto derivado do petróleo, essencial na construção e manutenção de estradas asfaltadas. Ele é conhecido por suas propriedades de ligação e impermeabilidade, bem como sua flexibilidade, durabilidade e resistência a ácidos, sais e álcalis. (Bernucci et al, 2008)

Proveniente da destilação do petróleo, as principais qualidades que levaram os materiais betuminosos a serem amplamente inseridos na pavimentação são a impermeabilidade, a aderência entre os agregados e o betume, fator que permite a ligação coesa entre ambos, a impermeabilidade, a durabilidade de propriedades importantes por anos, a adequação a diversas temperaturas e condições climáticas e os preços consideravelmente mais baixos com relação aos outros materiais utilizados para a mesma finalidade. (SENÇO)

O CAP é usado em processos de construção que envolvem calor, como a produção de concreto asfáltico, misturas pré-fabricadas e tratamentos de superfície em estradas. No entanto, é crucial não o aquecer acima de 177°C, pois temperaturas mais elevadas podem danificar sua qualidade. A temperatura adequada de aplicação é determinada pela viscosidade do CAP em relação à temperatura.

Além disso, evita-se aplicar o CAP em condições de chuva, em superfícies molhadas e quando a temperatura ambiente for inferior a 10°C. Essas condições adversas podem comprometer a aderência e a eficácia do asfalto.

O CAP desempenha um papel vital na construção de estradas asfaltadas, garantindo sua força e durabilidade. Seguir as diretrizes de temperatura e evitar condições desfavoráveis é fundamental para obter resultados bem-sucedidos.

No Brasil, cerca de 95% das estradas pavimentadas são de revestimento asfáltico, além de ser também utilizado em grande parte das ruas. Os ligantes asfálticos proporcionam uma forte união entre os agregados, o que confere uma função de ligante, resultando em um material flexível e muito resistente.

Os CAPs são matéria-prima para outros tipos de asfaltos como os asfaltos diluídos, as emulsões asfálticas, os asfaltos modificados, os asfaltos espuma, os asfaltos soprados, além de suas aplicações rodoviárias a quente por meio do concreto asfáltico que envolve vários tipos de composições granulométricas em conjunto com o CAP.

2.3. ASFALTOS MODIFICADOS

Os asfaltos modificados referem-se a asfaltos convencionais que foram alterados pela adição de polímeros ou outros aditivos para melhorar as propriedades. Essas modificações podem ser feitas de várias formas, podendo proporcionar muitas vantagens em relação ao asfalto convencional.

Um dos asfaltos modificados existentes, o asfalto de borracha é uma das tentativas de conferir novas propriedades e qualidades ao asfalto convencional. Existem algumas modificações do asfalto que foram capazes de conferir novas características desejáveis, como resistência, durabilidade, maior impermeabilidade e aderência. Um exemplo é o asfalto modificado com polímeros, no qual foi possível analisar a significativa melhora na resistência à deformação permanente e à fadiga e o aumento da resistência a intempéries, como variação da temperatura e radiação. Além disso, é possível citar o asfalto modificado com aditivos químicos, com ganhos na estabilidade, capacidade de aderência e resistência a fadiga; e os asfaltos modificados com emulsões, obtidos a partir de misturas de asfalto com água e um agente emulsificante, com ganho na impermeabilidade e melhoria da aderência.

Cada tipo de asfalto modificado tem suas próprias características e aplicações específicas, e a escolha depende das necessidades do projeto, das condições climáticas e do tráfego esperado. Essas modificações visam melhorar a durabilidade

e o desempenho dos pavimentos, tornando-os mais adequados para uma variedade de situações.

Os asfaltos modificados podem ter ganhos nas propriedades físicas, ganhando mais resistência aos desgastes, prolongando as vidas úteis das estradas, o que pode ser ótimo do ponto de vista de manutenção e possivelmente de orçamento. Além disso, os asfaltos podem ganhar maior estabilidade térmica, ou seja, mais resistência às variações climáticas e conseqüentemente maior durabilidade. A flexibilidade e maior adesão são outras características importantes para a resistência do asfalto, com a redução do risco de delaminação e maior adaptação às deformações causadas pelo tráfego e variações climáticas. Alguns asfaltos mais específicos também podem ter maior resistência a produtos químicos, como combustíveis e solventes. Com as propriedades conferidas por essas alterações, é possível moldar o melhor tipo de material para as situações mais diversas, buscando sempre garantir a melhor solução de pavimentação, levando em consideração as condições e esforços que irão atuar sobre o pavimento.

Para condições de alto volume de veículos comerciais com pesos por eixo crescente em rodovias de grande fluxo ou em aeroportos, em corredores de tráfego pesado e canalizado em condições adversas de clima e com ampla variação térmica entre inverno e verão, o uso dos asfaltos modificados tem sido necessário.

Entretanto, existem alguns desafios na aplicação dos asfaltos modificados, questões importantes, como a viabilidade técnica, o orçamento e a disposição de equipamentos adequados. Os asfaltos modificados podem ter a produção com preço elevado em consideração ao asfalto convencional por conta do preço dos polímeros ou aditivos envolvidos na mistura. Além disso, a produção e a aplicação de asfaltos modificados podem exigir técnicas específicas e equipamentos especializados, aumentando a complexidade do processo. Para a escolha certa do modificador é importante se atentar a facilidade de incorporação do polímero no asfalto, a composição química do cimento asfáltico a ser modificado pelo polímero, a resistência ao envelhecimento, a estabilidade à estocagem e também sua curva de viscosidade para estimativa da temperatura de usinagem e compactação. Nem todos os polímeros são passíveis de serem adicionados ao CAP e nem todo CAP quando modificado por polímeros apresenta estabilidade à estocagem (BERNUCCI et al., 2008).

2.3.1. ASFALTO MODIFICADO PELA BORRACHA DE PNEUS

A utilização do asfalto com borracha começou como um meio para resolver o problema da eliminação de estocagem descontrolada de pneus de borracha. Pneus velhos são um risco de incêndio e ocupam grandes quantidades de espaço em aterros sanitários. Incorporando pneus (como borracha de pneus triturados) para o pavimento era uma forma barata de ambos reciclagem da enorme quantidade de pneus velhos, reduzindo o preço do pavimento de asfalto (CURY; et al., 2015). Eliminar e reciclar os pneus estão entre as propostas que tem por objetivo diminuir os danos causados à natureza, por cerca de 30 milhões de pneus descartados no Brasil anualmente (CURY et al., 2015).

Estima-se que o Brasil lide com cerca de 30 milhões de pneus descartados a cada ano, apresentando desafios ambientais relacionados ao descarte inadequado em depósitos clandestinos, resultando em poluição e potenciais riscos para a saúde. Contudo, há uma perspectiva otimista ao considerar o potencial desses pneus inservíveis como uma fonte valiosa de borracha pulverizada.

O desenvolvimento de novas tecnologias abre caminho para a reciclagem eficiente desses pneus, transformando-os em borracha pulverizada. Essa borracha pode, então, ser utilizada como um componente modificador em asfaltos convencionais, proporcionando benefícios substanciais para a qualidade e durabilidade das 'estradas no Brasil.

Figura 1 - Fluxograma de reutilização dos pneus

REUTILIZAÇÃO DOS PNEUS

Deborah Ewely | March 14, 201



Fonte: PINTO, Deborah Ewely.

Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-civil/borracha-no-pavimento-asfaltico>

Segundo Wickboldt (2005) a borracha constituinte do pneu possui excelentes propriedades físico-químicas para ser incorporada ao ligante convencional, trazendo uma série de melhorias que se refletem diretamente na durabilidade do pavimento.

Ao incorporar a borracha proveniente da reciclagem de pneus, não apenas abordamos a questão dos resíduos de maneira mais sustentável, mas também melhoramos as propriedades do ligante asfáltico. Isso, por sua vez, contribui para estradas mais resistentes e duradouras, representando uma abordagem inovadora e ambientalmente consciente na construção e manutenção de infraestruturas rodoviárias. (MARTINS, 2015).

Em virtude dos benefícios sustentáveis e dos ganhos de qualidade são justificção suficiente para o uso de pavimento de asfalto emborrachado para muitos estados, descobertas recentes têm reforçado a adoção do material, especialmente em construções de grande escala de pavimentação como rodovias. Estradas de asfalto com borracha são mais duráveis, sendo significativamente menos quebradiço e oferecendo resistência à fissuração e tem potencial para durar 10 anos. Sua superfície

lisa e maiores resistências proporcionam uma melhor qualidade de passeio. (CURY et al., 2015)

As aplicações típicas do asfalto modificado com borracha de pneus são tanto em pavimentos novos quanto em restaurações. O ligante é utilizado em praticamente em todas as aplicações comuns a ligantes asfálticos.

O descarte dos pneus pode ser feito de algumas formas, como o cisalhamento mecânico da borracha a temperatura ambiente, o congelamento do material e posterior cisalhamento e o processo de extrusão com o uso de aditivos (Bahia e Davies, 1995). O reaproveitamento da raspa proveniente da preparação dos pneumáticos para a reciclagem é outra forma de obter a borracha granulada.

As vantagens de se utilizar a borracha triturada de pneus nas misturas asfálticas devem levar em consideração os benefícios de cunho ambiental e de engenharia (FERNANDES JÚNIOR, 2015).

2.3.2. PROCESSO DE ADIÇÃO DA BORRACHA DE PNEU

O processo de adição da borracha de pneu na mistura é semelhante a incorporação de agregados comumente utilizados na composição, o que se diferencia é a temperatura aplicada. Devido ao maior nível de viscosidade, o asfalto-borracha exige uma temperatura mais elevada (ROSENO,2005).

A incorporação deste tipo de borracha pode ser de dois modos: úmido e seco (NUNES,2019).

2.3.2.1. PROCESSO ÚMIDO

No processo úmido, é realizado uma combinação da borracha com o cimento asfáltico, com mistura sob alta temperatura (aproximadamente 190°C) juntamente com o ligante por um período de 1 a 4 horas, assim misturando e amolecendo as partículas produzindo um aglutinante, chamado de asfalto-borracha (PILATI, 2008).

É recomendável que o equipamento utilizado para misturar os componentes deve controlar a temperatura de forma constante e realizar a incorporação eficientemente

para que tudo fique uniforme além de evitar o tempo de reação e a segregação de partes da massa.

2.3.2.2. PROCESSO SECO

A borracha de pneu pulverizada é aplicada juntamente com os agregados do modo convencional como sendo um só componente, também se utilizando de elevada temperatura para a mistura (BERNUCCI, 2008). Para o processo seco, 200°C é a melhor alternativa, adicionando o agregado modificado se mistura rapidamente até ficar homogêneo, logo após vem o ligante betuminoso para compor a massa asfáltica.

O tamanho das partículas da borracha nesse processo é maior que o modo úmido e com esse material parte do agregado comumente usados diminui consideravelmente. Cerca de 4% de borracha relacionado ao total dos agregados começa a fazer parte deste asfalto modificado, sendo o dobro ou mais do que a quantidade usada no processo úmido (FAXINA,2002).

3. VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA

Mesmo demonstrando benefícios, quando avaliado o processo de fabricação no campo da engenharia alguns entraves são visíveis. Com o domínio de técnicas de aplicação do asfalto convencional, pode haver uma rejeição em utilizar de métodos inovadores.

A ausência de normas específicas que também se torna um desafio para quem quer implementar essa tecnologia, pois uma vez que não há uma predeterminação de especificações da dosagem e melhor forma de uso das máquinas e seus requisitos técnicos com a adição da borracha de pneu, se torna um pouco incerto a sua consolidação nas vias. (Brazilian Journal of Development, v.7, n.11, 2021)

A elevada temperatura aplicada na mistura da borracha de pneu na massa asfáltica apresenta riscos à saúde dos colaboradores que estarão expostos ao processo, além da grande emissão de gases poluentes que degradam o meio ambiente. Estas observações geram uma repulsa das empresas responsáveis pela pavimentação.

Diante da análise de viabilidade técnica e observadas as características e benefícios da utilização do asfalto de borracha de pneu, é possível verificar o ponto de maior interesse da pesquisa: a viabilidade econômica do uso desse ligante nas estradas do Brasil.

A política econômica do asfalto de borracha geralmente depende de diversos fatores, como disponibilidade de matéria-prima, custo de produção, durabilidade do produto final e políticas ambientais. Em alguns casos, o asfalto de borracha pode ser mais durável e resistente, custos de manutenção mais curtos a longo prazo, ou que pode impactar com precisão as previsões econômicas. Entretanto, é essencial considerar as condições locais e o contexto específico para avaliar completamente essa viabilidade.

Hoje, os custos de investimento para esse tipo de asfalto ainda são altos. Mas considerando a técnica promissora, já que deve proporcionar maior durabilidade, menor ruído e menor manutenção (WICKBOLDT, 2005). Para a produção do asfalto de borracha, a obtenção da borracha geralmente se dá pelo descarte de materiais e reciclagem, utilizando de diversas técnicas para a obtenção do ligante, além de poder haver aditivos na mistura, como óleos e modificadores. No Brasil, o uso da borracha em pavimentação asfáltica foi aprovado em 1999, por Resolução do Conselho Nacional Do Meio Ambiente (Conama nº 258, de agosto de 1999). (Di Giulio, 2007). Com isso, a responsabilidade do ciclo total de vida dos pneus passou a ser do produtor e importador dos pneus, obrigando os fabricantes e importadores a coletarem e darem destino final de forma ambientalmente correta aos produtos que colocam no mercado. Este papel é cumprido, basicamente, pela Associação Nacional das Indústrias de Pneumáticos (Anip) que, desde 2000, tomou para si a responsabilidade pela coleta dos pneus inservíveis (sem condições de rodagem ou de reforma) e criou os chamados ecopontos — são 220 postos para coletas de pneus espalhados em várias cidades por todo o país. Além disso, a Anip promove e demonstra interesse nas pesquisas relacionadas ao uso da borracha dos pneus na pavimentação, por se tratar de mais uma forma de reutilizar esse material. (Di Giulio, 2007).

Portanto, por ser um material amplamente disponível e de grande necessidade de reciclagem, não existe grande complexidade para se obter esse material para a mistura.

A tecnologia utilizada na produção do asfalto de borracha pode influenciar significativamente suas opções econômicas. Métodos eficientes de reciclagem de pneus e processos de produção otimizados podem resultar em custos mais baixos. Além disso, a constante evolução da tecnologia pode levar a melhorias na qualidade do asfalto de borracha, tornando-o ainda mais competitivo em termos de desempenho e durabilidade.

A durabilidade do asfalto de borracha pode resultar em menores necessidades de manutenção e reparos, o que não apenas reduz custos a longo prazo, mas também minimiza intermediários no tráfego. Isso pode ser particularmente importante em áreas urbanas e rodovias de alto tráfego.

Na última análise, as soluções econômicas do asfalto de borracha de pneu são multifacetadas e dependem da atenção cuidadosa de uma variedade de fatores locais e contextuais. Avaliações de custo-benefício abrangentes, juntamente com uma compreensão profunda dos elementos relevantes, são essenciais para determinar se essa tecnologia é relevante para uma determinada aplicação ou região.

4. ANÁLISE EXPERIMENTAL

Um estudo de caso feito por estudantes da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, demonstra uma análise comparativa entre duas partes da mesma via situada na Rua Ângelo Domingos Durigan (Curitiba-PR). Foi evidente o quão desgastado ficou com o passar do tempo para o asfalto convencional, mesmo com a ação das mesmas intempéries.

Após 7 anos de utilização da via em estudo, fez-se uma análise visual e chegou-se à conclusão de que aproximadamente 70% do trecho com CAP-50/70 sofreu algum tipo de manutenção, enquanto o asfalto-borracha precisou somente de 10% de reparo.

Avaliando a soma dos custos (utilizando dos dados disponíveis nas tabelas da Prefeitura de Curitiba em exercício no ano de 2012) de execução e manutenção de ambos os tipos asfalto, percebe-se que o convencional R\$ 46,66/m² e o modificado pela borracha de pneu ficou avaliado em R\$ 77,22/m², tendo em vista que a manutenção dos dois modelos será R\$ 67,30/m³, pois se dá da mesma forma para ambas as formas de pavimentação.

Mesmo que o CAP comum apresente inicialmente um peso menor, a longo prazo o asfalto-borracha demonstra ser melhor opção, pois seu desempenho carrega maiores vantagens em relação a durabilidade, resistência, gastos com manutenção, aspecto sustentável e etc.

Figura 2 - Comparação do custo de execução dos asfaltos convencional e com borracha



Fonte: SANCHES; GRANDINI; JUNIOR, 2012.

Figura 3 - Comparação do custo de manutenção dos asfaltos convencional e com borracha



Fonte: SANCHES; GRANDINI; JUNIOR, 2012.

Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-civil/borracha-no-pavimento-asfaltico>

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao longo deste trabalho analisou-se o custo de implementação e a viabilidade econômica da utilização do asfalto de borracha de pneus. Diante das análises, foi possível verificar como o asfalto de borracha de pneus pode ser importante para o meio ambiente e conferir propriedades desejáveis para a pavimentação do país, principalmente nas malhas rodoviárias, que concentram a maior necessidade de manutenções, com um custo final inferior ao asfalto convencional.

O custo da implementação do asfalto de borracha é cerca de 30% maior em relação ao asfalto convencional, por conta de todo o processo de adição da borracha. O asfalto de borracha custa R\$ 1,4 mil por tonelada, enquanto que o asfalto convencional custa cerca de R\$ 1,1 mil por tonelada (REZENDE, 2011). Portanto, para que seja viável, o custo de manutenção precisa compensar os gastos iniciais de implementação. Conforme apresentado ao longo deste trabalho o asfalto de borracha de pneus requer menor manutenção ao longo de sua vida útil, motivo que o torna mais econômico que o concreto convencional.

O asfalto modificado a partir da borracha dos pneus tem potencial para se tornar o futuro das estradas brasileiras. Mas, para isso, é necessário que haja incentivos para a implementação desse tipo de ligante, que, futuramente terá um ganho no quesito de demanda de manutenção e custo de material, pois a borracha dos pneus pode ser amplamente encontrada e reciclada para esse fim, o que resolve também o problema do descarte indevido desse material. Além disso, o asfalto de borracha de pneus aumenta o desempenho da camada de rolamento, garantindo mais segurança para os veículos e resistência ao rolamento.

6. REFERÊNCIAS

GIL, Antonio Carlos. Métodos e técnicas de pesquisa social. 6. Ed. Editora Atlas AS, 2008. Disponível em: https://feata.edu.br/downloads/revistas/economiaepesquisa/v3_artigo01_globalizacao.pdf. Acesso em: 20 out. 2023.

DE OLIVEIRA, LARYSSA GUEDES; DE ALMEIDA, MARIA LUCIANA; DE SOUSA, ADEILTON PEREIRA. Logística Reversa Aplicada ao Comercio de Pneus: Um Estudo Aplicado na Reciclanip. Disponível em: <http://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos13/37418369.pdf>. Acesso em: 20 out. 2023

SENÇO, Wlastermiler de. Manual de Técnicas de Pavimentação-v. 1-2ª edição. PINI. São Paulo-SP. 761p, 2007.

BALBO, José Tadeu. Pavimentação asfáltica: materiais, projeto, e restauração . Oficina de Textos, 2015.

BERNUCCI, Liedi Légi Bariani et al. Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros. 2008. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/001735737>. Acesso em: 10 nov. 2023.

BERTOLLO, Sandra Aparecida Margarido et al. Pavimentação asfáltica: uma alternativa para a reutilização de pneus usados. Revista Limpeza Pública, n. 54, p. 23-30, 2000. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/001093688>. Acesso em: 10 nov. 2023.

COSTA, Clauber et al. O uso de reciclagem de pavimentos, como alternativa para o desenvolvimento sustentável em obras rodoviárias no brasil. Revista Traços, v. 12, n. 26, 2017. Disponível em: <http://revistas.unama.br/index.php/revistatracos/article/view/523>. Acesso em: 21 nov. 2023.

FAXINA, Adalberto Leandro. Estudo em laboratório do desempenho de concreto asfáltico usinado a quente empregando ligante tipo asfalto-borracha. 2002.

PINTO, Deborah Ewely Batista. MATUTI, Bruna Barbosa. **Utilização da borracha no pavimento asfáltico como melhoria nas pistas de rolamento.** Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-civil/borracha-no-pavimento-asfaltico>. Acesso em: 02 dez. 2023.

