



VANTAGENS DA UTILIZAÇÃO DE ASFALTO BORRACHA NA PAVIMENTAÇÃO - UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

ADVANTAGES OF THE USE OF ASPHALT BOTTLE IN PAVEMENT - A BIBLIOGRAPHIC REVIEW

VANTAGENS DE LA UTILIZACIÓN DE ASFALTO BORRACHA EN LA PAVIMENTACIÓN - UNA REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Felipe Lima de Oliveira¹, Sandra Fabiana Rodgher², Fabiana Florian³

<https://doi.org/10.47820/recima21.v6i1.7028>

PUBLICADO: 11/2025

RESUMO

O asfalto-borracha é um tipo de mistura asfáltica que incorpora borracha de pneus inservíveis. O uso de pneus inservíveis adicionados em pavimentos apresenta uma possibilidade atrativa e sustentável, além dos retornos técnicos como aumento da vida útil e maior resistência aos esforços, maior flexibilidade ao pavimento e maior economia. Este artigo tem como objetivo identificar a viabilidade da utilização de asfalto borracha em pavimentações através de uma pesquisa descritiva qualitativa. Os resultados evidenciam que o asfalto borracha apresenta desempenho técnico superior ao asfalto convencional, destacando-se pela maior durabilidade, elasticidade, resistência a fissuras e redução de ruídos. Apesar do custo inicial mais elevado, a tecnologia mostra-se economicamente vantajosa a médio e longo prazo, devido à significativa redução de custos de manutenção e prolongamento da vida útil do pavimento. Além disso, promove benefícios ambientais relevantes, como a reutilização de pneus inservíveis, redução da demanda por recursos naturais e contribuição para a sustentabilidade. Conclui-se que o asfalto-borracha constitui uma alternativa eficiente e sustentável, alinhada às demandas técnicas, econômicas e ambientais da pavimentação moderna.

PALAVRAS-CHAVE: Asfalto Borracha. Vantagens. Viabilidade. Pavimentação.

ABSTRACT

Rubber asphalt is a type of asphalt mixture that incorporates rubber from scrap tires. The use of scrap tires added to pavements presents an attractive and sustainable possibility, in addition to technical benefits such as increased service life and greater resistance to stress, improved pavement flexibility, and greater cost-efficiency. This article aims to identify the feasibility of using rubber asphalt in paving. A qualitative descriptive study was conducted. The results show that rubber asphalt has superior technical performance compared to conventional asphalt, standing out for its greater durability, elasticity, crack resistance, and noise reduction. Although the initial cost is higher, the technology proves to be economically advantageous in the medium and long term due to the significant reduction in maintenance costs and the extension of pavement lifespan. Furthermore, it promotes relevant environmental benefits, such as the reuse of scrap tires, reduced demand for natural resources, and contributions to sustainability. It is concluded that rubber asphalt constitutes an efficient and sustainable alternative, aligned with the technical, economic, and environmental demands of modern paving.

KEYWORDS: Rubber Asphalt. Advantages. Feasibility. Paving.

¹ Estudante da Uniara - Universidade de Araraquara.

² Doutorado em Engenharia de Transportes pela Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, Brasil(2002). Docente da Universidade de Araraquara.

³ Coorientador. Docente do Curso de Sistemas de Informação da Universidade de Araraquara- UNIARA.

RESUMEN

El asfalto-caucho es un tipo de mezcla asfáltica que incorpora caucho de neumáticos fuera de uso. El uso de neumáticos inservibles añadidos a los pavimentos representa una posibilidad atractiva y sostenible, además de los beneficios técnicos como el aumento de la vida útil, mayor resistencia a los esfuerzos, mayor flexibilidad del pavimento y mayor economía. Este artículo tiene como objetivo identificar la viabilidad de la utilización del asfalto-caucho en pavimentaciones. Se realizó una investigación descriptiva cualitativa. Los resultados evidencian que el asfalto-caucho presenta un desempeño técnico superior al asfalto convencional, destacándose por su mayor durabilidad, elasticidad, resistencia a fisuras y reducción de ruidos. A pesar del costo inicial más elevado, la tecnología se muestra económicamente ventajosa a mediano y largo plazo, debido a la significativa reducción de costos de mantenimiento y la prolongación de la vida útil del pavimento. Además, promueve importantes beneficios ambientales, como la reutilización de neumáticos inservibles, la reducción de la demanda de recursos naturales y la contribución a la sostenibilidad. Se concluye que el asfalto-caucho constituye una alternativa eficiente y sostenible, alineada con las demandas técnicas, económicas y ambientales de la pavimentación moderna.

PALABRAS CLAVE: Asfalto-Caucho. Ventajas. Viabilidad. Pavimentación.

1. INTRODUÇÃO

De acordo com relatório da ANIP- Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos (2025), no Brasil, foram vendidos em 2024, 50.593.489 milhões de pneus (passeio, carga, comercial leve, moto). Várias consequências negativas surgiram com a demanda de pneus, tais como o descarte em locais inadequados. No Brasil, são descartados pelo menos 450 mil toneladas de pneus por ano. De acordo com CEMPRE-Compromisso Empresarial para Reciclagem (2025), o volume de resíduos sólidos produzido vem aumentando de modo desordenado e prejudicial à natureza, uma vez que não são dados a ele fins adequados. Um dos resíduos sólidos que mais vem preocupando ambientalistas, sociedade e governo são os pneus inservíveis, pois possuem materiais em sua composição que demoram centenas de anos para se deteriorar. O descarte irregular de pneus no Brasil é um grave problema ambiental que causa poluição do solo, contaminação da atmosfera e criadouros de insetos transmissores de doenças.

A Resolução Conama nº 416, de 30 de setembro de 2009, obriga os fabricantes e importadores de pneus novos a coletar e dar destinação ambientalmente adequada aos pneus inservíveis. A Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei 12.305/2010) estabelece instrumentos para implementar o princípio da responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, sendo um deles, a logística reversa, destinada a viabilizar o reaproveitamento dos resíduos sólidos no processo produtivo e, assim, diminuir o envio de materiais para a disposição no solo (CONAMA, 2009; Brasil, 2010).

No setor da construção civil, dentre algumas práticas adotadas de forma menos agressiva ao meio ambiente, está a utilização de resíduos como agregados e dentre as diversas formas de reaproveitamento está a utilização de borracha proveniente de pneus inservível (Catapreta; Loyola; Zambiasi, 2016; Rocha, 2017; Silva *et al.*, 2019; Vucovic, 2021).

Estudos comprovam que a utilização do asfalto-borracha é ecologicamente correta, pois colabora com a diminuição de resíduos ambientais ao incorporar pneus inservíveis em sua composição. A reciclagem de pneus para este fim evita que se tornem fonte de poluição e representa

um reaproveitamento de um recurso natural (Catapreta; Loyola; Zambiasi, 2016; Silva *et al.*, 2019; Nogueira *et al.*, 2020; Vucovic, 2021).

A substituição parcial de agregados naturais por resíduos de borracha de pneu colabora duplamente com o meio ambiente, pois além de reciclar tal resíduo, poupa as reservas finitas de agregados naturais e contribui com a qualidade ambiental. Também há a redução da demanda de petróleo, ao se considerar a substituição de parte do asfalto por borracha moída de pneus (Catapreta; Loyola; Zambiasi, 2016; Rocha, 2017; Silva *et al.*, 2019; Vucovic, 2021).

O asfalto borracha surgiu da necessidade de contribuição ecológica e melhoramento de técnicas construtivas, porém, cabe questionar se essa tecnologia é viável do ponto de vista técnico e financeiro. Quais as vantagens (econômica, técnica e ambiental) da utilização do asfalto borracha em pavimentações quando comparadas ao asfalto tradicional? A hipótese é a de que a utilização do asfalto-borracha em pavimentações apresenta-se como uma alternativa técnica e economicamente viável em relação ao asfalto convencional, oferecendo vantagens significativas no aumento da durabilidade do pavimento, na redução de custos de manutenção e na mitigação de impactos ambientais, especialmente pela destinação sustentável de pneus inservíveis.

Este trabalho tem como objetivo identificar a viabilidade da utilização de asfalto borracha em pavimentações, para isso foi realizada uma pesquisa bibliográfica sobre o asfalto borracha na pavimentação. Foram consultadas as bases Google Acadêmico e SciELO, no período de 2015 a 2025. Utilizou-se as palavras-chave: “Asfalto Borracha,” “Viabilidade”, “Pavimentação” e “Utilização do Asfalto Borracha”, priorizando artigos científicos relevantes e atualizados que contribuam para o aprofundamento do tema.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Esta seção tem como objetivo apresentar referencial teórico sobre a pavimentação e a utilização do asfalto-borracha como alternativa tecnológica. Primeiramente, discute-se a importância da pavimentação no Brasil, considerando seu impacto na mobilidade, na segurança viária e no desenvolvimento socioeconômico. Em seguida, aborda-se a evolução histórica e técnica do asfalto-borracha, desde suas primeiras aplicações até a consolidação como solução sustentável para o reaproveitamento de pneus inservíveis.

2.1. Breve Consideração sobre a Pavimentação no Brasil

A pavimentação asfáltica no Brasil é um tema de grande relevância, especialmente considerando que a malha rodoviária lidera a matriz de transportes do país e a infraestrutura existente é frequentemente inadequada para as demandas da sociedade. A Confederação Nacional do Transporte (CNT) apontou em sua última análise que apenas 12,4% da malha rodoviária brasileira é pavimentada. A melhoria e manutenção dessas rodovias são cruciais para o desenvolvimento do país, contribuindo para a redução de acidentes e trazendo benefícios diretos à sociedade (CNT, 2021).

Já o Censo 2022 do IBGE revelou que, no Brasil, 88,5% dos moradores viviam em vias pavimentadas, o que equivale a cerca de 154,1 milhões de pessoas. Ainda assim, 11,5% (19,5 milhões) da população brasileira reside em ruas sem pavimentação (IBGE, 2022).

A pavimentação é uma obra civil essencial para criar uma superfície adequada para o tráfego de veículos e pedestres, construída acima da superfície final de terraplenagem com o objetivo de suportar os esforços resultantes do tráfego e das condições climáticas, proporcionando melhores condições aos usuários (Amaral; Silva; Costa, 2021; Bernucci *et al.*, 2022).

A pavimentação de vias não apenas melhora o tráfego, mas também proporciona uma superfície mais regular e aderente, aumentando o conforto e a segurança, além de reduzir o ruído em áreas urbanas e rurais.

Existem dois tipos principais de pavimentos: flexíveis (asfálticos) e rígidos (de concreto Portland). Os pavimentos flexíveis utilizam ligantes asfálticos e agregados em seu revestimento e oferecem mais conforto aos usuários por não necessitarem de juntas de dilatação, além de geralmente terem um custo de construção inferior aos rígidos. Os pavimentos rígidos utilizam placas de cimento Portland e resistem às tensões através da flexão da placa. Nos pavimentos flexíveis, as tensões são distribuídas de forma quase igual às camadas inferiores (base, sub-base, reforço de subleito e subleito). O revestimento é a camada superficial que recebe diretamente os esforços do tráfego, sendo o concreto asfáltico um material de referência para estudo (Bernucci *et al.*, 2022).

Ao longo dos anos, os materiais e técnicas de pavimentação têm evoluído buscando maior durabilidade, resistência e redução de custos. Apesar disso, é comum observar patologias na superfície das rodovias, como trincas por fadiga e trilhas de rodas, que causam desconforto e riscos. Uma das causas da deformação permanente nas trilhas de roda é a baixa resistência ao cisalhamento das misturas asfálticas. Desta forma, a vida útil dos pavimentos pode ser drasticamente reduzida por procedimentos de execução inadequados, como má compactação, drenagem deficiente e excesso de peso (Amaral; Silva; Costa, 2021; Bernucci *et al.*, 2022).

A engenharia de pavimentação precisa considerar questões ambientais e socioeconômicas, buscando soluções que minimizem os impactos adversos do desenvolvimento rodoviário (Bernucci *et al.*, 2022).

Para melhorar os revestimentos asfálticos e mitigar esses problemas, alternativas como a inserção de borracha de pneus usados estão sendo estudadas.

2.2. Aspectos Históricos e Técnicos do Asfalto borracha

A história do asfalto borracha é marcada por um desenvolvimento gradual e crescente reconhecimento de suas vantagens, impulsionado tanto pela necessidade de inovações em infraestruturas rodoviárias quanto pela busca por soluções sustentáveis para o descarte de resíduos de pneus (Mendes, 2019; Martins, 2020; Bernucci *et al.*, 2022).

Em 1823, foi concedida a primeira patente para o uso de borracha natural na construção de estradas. Em 1844, ocorreu a primeira patente combinando material betuminoso com borracha natural. As aplicações práticas de asfaltos modificados começaram em 1901, com o início de experimentos em pavimentação na França. As primeiras tentativas de utilizar sucata de pneus no asfalto ocorreram na década de 1950, embora com desempenho limitado (Mendes, 2019; Martins, 2020; Bernucci *et al.*, 2022).

O desenvolvimento do asfalto de borracha como material de pavimentação teve início na década de 1960 nos Estados Unidos, com experiências que demonstraram o potencial da borracha reciclada para aumentar durabilidade e flexibilidade. Sua adoção se expandiu significativamente no final do século XX, quando o custo de produção se tornou economicamente viável (Mendes, 2019; Martins, 2020; Bernucci *et al.*, 2022).

Em 1991, foi estabelecida a obrigatoriedade de incorporar borracha de pneus nas pavimentações asfálticas nos Estados Unidos. Até 1990, aproximadamente um milhão de pneus eram reutilizados anualmente; em 1993, esse número chegou a cerca de dois milhões. Em 2001, estudos demonstraram que o desempenho das misturas com asfalto emborrachado era superior às misturas convencionais. A adoção da tecnologia cresceu, tornando-se predominante em diversos estados dos EUA. Em 2018, quase metade dos pavimentos construídos na Califórnia já utilizava asfalto de borracha (Mendes, 2019; Martins, 2020; Bernucci *et al.*, 2022).

No Canadá, o asfalto de borracha começou a ser testado no início dos anos 2000, embora os resultados iniciais não tenham sido tão consistentes quanto nos EUA. No Brasil, o primeiro segmento viário com asfalto de borracha foi executado em agosto de 2001. Desde então, a tecnologia tem sido utilizada em rodovias de diferentes estados, com destaque para obras de grande porte (Mendes, 2019; Martins, 2020; Bernucci *et al.*, 2022).

Na África, a implementação da tecnologia tem sido mais limitada, ocorrendo principalmente na África do Sul e ganhando destaque em países como Angola e Argélia. Os Estados Unidos e a África do Sul mantêm o domínio sobre o uso do asfalto-borracha, utilizando-o há mais de 20 anos (Mendes, 2019; Martins, 2020; Bernucci *et al.*, 2022).

O reaproveitamento de pneus descartados possui duas formas de reutilização da borracha para pavimentação:

Processo Úmido: A borracha granulada reciclada é combinada com um cimento asfáltico convencional aquecido (aproximadamente 190°C) em um tanque de mistura. A quantidade de borracha varia de 5% a 25% em peso em relação ao cimento asfáltico, geralmente com partículas inferiores a 2 mm. O produto final é denominado asfalto-borracha (Mendes, 2019; Vucovic, 2020; Bernucci *et al.*, 2022).

Processo Seco: A borracha triturada é adicionada à mistura como parte dos agregados em misturas quentes. Os agregados são aquecidos a cerca de 200°C, a borracha é adicionada e misturada por aproximadamente 15 segundos, e então o ligante betuminoso é adicionado. Insere-se de 3% a 5% de borracha em relação à massa total de agregados minerais, com partículas variando de 1,6 a 6,4 mm. A quantidade de borracha consumida é 2 a 4 vezes maior que no processo úmido, e a borracha atua como um material inerte, substituindo uma parcela dos agregados. O produto final é denominado agregado-borracha (Mendes, 2019; Vucovic, 2021; Bernucci *et al.*, 2022).

De acordo com Mendes (2019) e Vucovic (2021), o processo para usar pneus em asfalto envolve algumas etapas principais:

Trituração e Moagem dos Pneus: Inicialmente, os pneus inservíveis passam por um processo de trituração e moagem. Este processo visa reduzir os pneus a partículas menores, preparando o material para a próxima etapa.

Separação de Aço e Náilon: Durante a trituração e moagem, ocorre a separação do aço e do náilon presentes nos pneus. Essa separação é necessária, pois apenas a borracha em pó é utilizada na mistura com o asfalto.

Mistura da Borracha em Pó com o Asfalto: A borracha resultante do processo de trituração e moagem, já separada do aço e do náilon, é então misturada com o asfalto. Essa mistura resulta no asfalto-borracha, um material com características técnicas superiores ao asfalto convencional.

Essa mistura visa aprimorar características do asfalto como resistência, permeabilidade e aderência das pistas de rolamento. O produto final, o asfalto-borracha (também denominado AMB - Asfalto Modificado por Borracha), é então aplicado utilizando equipamentos convencionais de pavimentação (Mendes, 2019; Vucovic, 2021).

Conforme ilustrado na Figura 1, as usinas de asfalto-borracha são responsáveis pela incorporação do pó de pneus ao ligante asfáltico, garantindo as propriedades técnicas que diferenciam este material do asfalto convencional. Esse processo, realizado em alta temperatura, possibilita maior viscosidade, elasticidade e durabilidade ao pavimento.

Figura 1. Usina de produção de asfalto-borracha



Fonte: Arquivo pessoal (2025)

Conforme ilustrado na Figura 2, a aplicação do asfalto-borracha em campo é realizada por meio de equipamentos convencionais de pavimentação, semelhantes aos utilizados para o asfalto tradicional. O processo envolve a distribuição uniforme da mistura sobre a via e sua compactação, garantindo o desempenho estrutural e as propriedades técnicas do revestimento, como maior resistência, durabilidade e segurança viária.

Figura 2. Aplicação do asfalto-borracha em campo



Fonte: Arquivo pessoal (2025)

3. MÉTODOS

Trata-se de um estudo de natureza bibliográfica, voltado à análise da viabilidade da utilização do asfalto-borracha em pavimentações. Segundo Gil (2010), a pesquisa bibliográfica é desenvolvida a partir de material já publicado, permitindo ao pesquisador conhecer, analisar e discutir contribuições anteriores sobre o tema em questão. Neste sentido, foram consultadas as bases de dados Google Acadêmico e Scientific Electronic Library Online (SciELO), por meio da aplicação dos descritores: “Asfalto Borracha”, “Viabilidade”, “Pavimentação” e “Utilização do Asfalto Borracha”. A seleção dos materiais foi realizada a partir da identificação e leitura das publicações mais relevantes para o objeto de estudo, priorizando aquelas que apresentem maior contribuição científica. Na busca foram incluídos artigos científicos redigidos em português e inglês, publicados no período compreendido entre 2015 e 2025, garantindo a atualização e pertinência das informações analisadas.

4. VIABILIDADE DA UTILIZAÇÃO DO ASFALTO BORRACHA EM PAVIMENTAÇÕES

Segundo Marvila, Tiepo (2017); Fagundes, Corrêes (2020); Carvalho, Almeida, Junior, (2020); Siqueira *et al.*, (2021); Pereira (2021); Mignoli *et al.*, (2023); Oliveira; Farias (2023); Akodedjro (2024) há diversas vantagens técnicas, benefícios econômicos e ambientais quando

comparado o asfalto borracho com o convencional. Os estudos também apresentam desafios e desvantagens associadas a utilização do asfalto borracha em pavimentações, embora destaquem que as desvantagem e desafios não superam os benefícios e vantagens.

O Quadro 1 apresenta uma síntese consolidada das principais características do asfalto-borracha em comparação com os pavimentos convencionais. São apresentadas as vantagens técnicas, os benefícios econômicos e ambientais, os benefícios gerais e os desafios ou desvantagens associados a essa tecnologia.

Quadro 1. Síntese de resultados dos estudos relacionados a vantagens técnicas, benefícios econômicos e ambientais, benefícios gerais e desafios ou desvantagens

Categoria	Aspectos Identificados
Vantagens Técnicas	• Maior viscosidade, elasticidade e aderência. • Maior flexibilidade e acomodação de tensões. • Durabilidade até 3x superior. • Resistência a deformações, trincas, fissuras e desgaste. • Impermeabilidade e menor suscetibilidade térmica. • Resistência ao envelhecimento e altas temperaturas. • Maior ductilidade e retorno elástico. • Melhor dirigibilidade e segurança em pista molhada. • Redução de ruídos no tráfego. • Redução da espessura do revestimento. • Resfriamento mais rápido, agilizando a execução.
Benefícios Econômicos	• Custo inicial 13–20% maior, mas compensado. • Redução de até 60% nos custos de manutenção. • Vida útil prolongada. • Menor necessidade de reparos frequentes. • Redução do custo total da obra (espessura até 50% menor). • Menor custo por km no ciclo de vida completo. • Redução do ICMS: diminuição de ~18% no custo do CAP borracha, tornando o preço próximo ao CAP 50/70 e aumentando a viabilidade econômica local.
Benefícios Ambientais	• Reutilização de pneus (até 1.000 pneus/km). • Redução do descarte inadequado em lixões e aterros. • Atendimento à logística reversa (CONAMA). • Redução da demanda por petróleo. • Incentivo à economia circular e sustentabilidade. • Redução da contaminação e focos de doenças: evita proliferação de mosquitos vetores (dengue, Zika, febre amarela, malária) e roedores, além de diminuir poluição do solo e do ar. • Economia de recursos naturais: substituição parcial do ligante asfáltico pelo pó de pneus, reduzindo demanda por petróleo e asfalto virgem.
Benefícios Gerais	• Melhoria da trafegabilidade e segurança. • Conforto (redução de ruído). • Aplicação em diversas regiões, incluindo semiáridas. • Estímulo à economia local e geração de empregos. • Técnica promissora e sustentável.
Desafios / Desvantagens	• Custo inicial elevado. • Necessidade de mão de obra especializada. • Maior controle tecnológico exigido. • Temperaturas mais altas no processamento. • Emissão de poluentes e odores. • Riscos ocupacionais no processo. • Prazo curto de aplicação em alguns métodos (<i>“Terminal Blend”</i>). • Limitações logísticas e baixa difusão no Brasil.

Categoria	Aspectos Identificados
	• Investimento extra em equipamentos e infraestrutura.

Fonte: Marvila, Tiepo, 2017; Fagundes; Corrês, 2020; Carvalho; Almeida; Junior, 2020; Siqueira *et al.*, 2021; Pereira, 2021; Valente, 2022; Mignoli *et al.*, 2023; Oliveira; Farias, 2023; Akodedjro, 2024

Observa-se que, do ponto de vista técnico, o asfalto-borracha apresenta maior durabilidade, elasticidade e resistência, promovendo melhor desempenho estrutural, menor suscetibilidade ao envelhecimento e maior conforto para os usuários. Economicamente, embora o custo inicial seja mais elevado, a redução de gastos com manutenção e a maior vida útil do pavimento tornam-no financeiramente vantajoso a longo prazo. Além disso, os benefícios ambientais incluem a reutilização de pneus inservíveis, redução do descarte inadequado e menor consumo de recursos naturais, reforçando o caráter sustentável da tecnologia. Outras vantagens gerais envolvem melhorias na segurança viária, na tráfegabilidade e impactos positivos na economia local. Entre os desafios, destacam-se o custo inicial mais elevado, a necessidade de mão de obra qualificada, o maior controle tecnológico e as limitações logísticas, fatores que exigem planejamento adequado e investimentos adicionais.

Diversos estudos recentes investigaram a aplicação do asfalto-borracha, produzido a partir da incorporação de pneus inservíveis ao ligante asfáltico, em comparação com o asfalto convencional, como CAP 50/70, CBUQ e TSD. De forma geral, os achados evidenciam que, embora o custo inicial de implantação do asfalto-borracha seja mais elevado, sua maior durabilidade, resistência e desempenho técnico garantem vantagens econômicas, ambientais e sociais a médio e longo prazo (Marvila; Tiepo, 2017; Fagundes; Corrês, 2020; Carvalho; Almeida; Junior, 2020; Siqueira *et al.*, 2021; Pereira, 2021; Valente, 2022; Mignoli *et al.*, 2023; Oliveira; Farias, 2023; Akodedjro, 2024).

4.1. Vantagens Técnicas

O asfalto-borracha apresenta vantagens técnicas significativas em relação aos asfaltos convencionais, como CAP 50/70, CBUQ e TSD, principalmente devido à incorporação de aproximadamente 15% de pó de pneus inservíveis em sua composição. Essa adição aumenta a viscosidade, elasticidade e aderência do ligante, resultando em maior flexibilidade e ductilidade do pavimento (Marvila, Tiepo, 2017; Silva, Silva Jr, 2019; Fagundes; Corrês, 2020; Carvalho; Almeida; Junior, 2020; Siqueira *et al.*, 2021; Valente, 2022; Mignoli *et al.*, 2023; Oliveira; Farias, 2023; Akodedjro, 2024).

Testes de laboratório demonstram que placas de asfalto-borracha resistem a um número maior de ciclos de carga sem apresentar fissuras ou deformações permanentes: enquanto uma placa de CBUQ deformou 13% após 10.000 ciclos, uma placa de asfalto-borracha apresentou apenas 5% de deformação após 30.000 ciclos, mantendo baixo grau de deterioração mesmo após 523.000 ciclos de carga (Carvalho; Almeida; Junior, 2020).

Além disso, a elasticidade do material permite que o pavimento retorne ao estado original após esforços mecânicos, retardando o aparecimento de trincas e buracos, o que aumenta

significativamente sua vida útil, podendo ser até três vezes maior que a do pavimento convencional, dependendo das condições de tráfego e clima (Marvila; Tiepo, 2017; Silva, Silva Jr, 2019; Fagundes; Corrê, 2020; Carvalho; Almeida; Junior, 2020; Siqueira *et al.*, 2021; Valente, 2022; Mignoli *et al.*, 2023; Oliveira; Farias, 2023; Akodedjro, 2024).

Outro aspecto técnico relevante é a melhoria das propriedades físicas do pavimento. A presença de borracha confere maior resistência ao envelhecimento, à oxidação e às intempéries, além de aumentar a impermeabilização, reduzir a suscetibilidade térmica e melhorar a adesividade entre agregados e ligante. Consequentemente, o pavimento apresenta maior segurança em condições de pista molhada, menor emissão sonora e maior conforto para os usuários. Estudos mostram ainda que a espessura do revestimento pode ser reduzida sem comprometer a capacidade estrutural, tornando o asfalto-borracha uma solução eficiente para rodovias urbanas e rurais com tráfego intenso, bem como regiões sujeitas a grandes variações de temperatura (Silva; Silva Jr, 2019; Fagundes; Corrê, 2020; Carvalho; Almeida; Junior, 2020; Siqueira *et al.*, 2021; Mignoli *et al.*, 2023; Oliveira; Farias, 2023; Akodedjro, 2024).

Além disso, o desempenho do asfalto-borracha em termos de tráfego e climatologia é comprovadamente superior. Ensaio indicam que o material possui maior ductilidade e retarda o surgimento de trincas por reflexão, suportando deformações causadas por tráfego pesado e ciclos térmicos sem comprometer a integridade estrutural. A aderência ao pavimento melhora a segurança veicular, especialmente em pistas molhadas ou úmidas, e o tempo de resfriamento mais rápido do pavimento facilita a execução da obra, reduzindo o tempo de intervenção nas vias (Silva; Silva Jr, 2019; Fagundes; Corrê, 2020; Carvalho; Almeida; Junior, 2020; Siqueira *et al.*, 2021; Mignoli *et al.*, 2023; Oliveira; Farias, 2023; Akodedjro, 2024).

4.2. Benefícios Econômicos

Sob o ponto de vista econômico, o asfalto-borracha, apesar de apresentar custo inicial 13% a 20% superior ao do asfalto convencional, demonstra-se mais vantajoso a médio e longo prazo devido à redução significativa em manutenção e reparos. (Silva; Silva Jr, 2019; Fagundes; Corrê, 2020; Oliveira; Farias, 2023; Akodedjro, 2024). Estudos em municípios do semiárido pernambucano mostraram que, em trechos de rodovias como a PE-320, o custo de implementação do asfalto convencional seria de R\$ 281.363,87, enquanto o asfalto-borracha alcançaria R\$ 383.263,92. Apesar de um investimento inicial maior, a análise indicou que o custo final de manutenção poderia ser reduzido em até 60% devido à menor frequência de reparos e à durabilidade prolongada (Oliveira; Farias, 2023).

Um exemplo concreto da relevância de incentivos fiscais na viabilidade econômica do asfalto-borracha pode ser observado no estado do Paraná. Em 2017, o governo estadual instituiu o Decreto nº 7.871, de 29 de setembro de 2017, que alterou o Regulamento do Imposto sobre Operações Relativas à Circulação de Mercadorias e sobre Prestações de Serviços de Transporte Interestadual e Intermunicipal e de Comunicação (RICMS/PR). Por meio desse decreto, foi estabelecida a isenção do ICMS na fabricação do CAP borracha, além da imunidade para o IPI. Essa medida reduziu a diferença de custo entre o CAP ECOFLEX B (asfalto-borracha) e o CAP

50/70 (asfalto convencional), tornando-os mais competitivos. Sem a isenção, o preço do CAP ECOFLEX B seria 18% superior, atingindo R\$ 4.396,68 por tonelada. No entanto, com a política de incentivo, o valor foi reduzido para R\$ 3.726,00 por tonelada, em comparação aos R\$ 3.820,00 por tonelada do CAP 50/70. Embora ainda apresentasse uma diferença de 3,2% no custo final do Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ) pronto, a medida viabilizou maior competitividade e estimulou o uso da tecnologia no estado (Pereira, 2021).

A redução dos custos a longo prazo se deve principalmente à menor necessidade de recapeamento e à diminuição de intervenções emergenciais, já que o pavimento resiste melhor a fissuras, deformações plásticas e trilhas de rodas. Além disso, a possibilidade de reduzir a espessura do revestimento, sem comprometer a resistência estrutural, proporciona economia direta nos materiais utilizados, o que também contribui para a redução do custo total da obra (Silva; Silva Jr, 2019; Fagundes; Corrê, 2020; Oliveira; Farias, 2023; Akodedjro, 2024).

Além disso, o asfalto-borracha contribui para a economia de recursos naturais. A utilização de pneus reciclados reduz a demanda por asfalto virgem e petróleo, diminuindo o uso de combustíveis não renováveis e favorecendo a adoção de práticas de economia circular. O aproveitamento de resíduos sólidos transforma um passivo ambiental em recurso produtivo, reduzindo a necessidade de extração de novos materiais e minimizando o impacto econômico associado à obtenção de matérias-primas tradicionais (Silva; Silva Jr, 2019; Fagundes; Corrê, 2020; Oliveira; Farias, 2023; Akodedjro, 2024).

4.3. Benefícios Ambientais

Os benefícios ambientais do asfalto-borracha são notáveis, especialmente considerando a problemática do descarte inadequado de pneus inservíveis. A incorporação de pneus na massa asfáltica contribui para a logística reversa, diminuindo o envio de resíduos a aterros e lixões e transformando um problema ambiental em solução produtiva. Em algumas aplicações, a utilização do asfalto-borracha pode consumir até mil pneus por quilômetro de pavimento, reduzindo significativamente o acúmulo de resíduos e promovendo a sustentabilidade da construção civil (Silva; Silva Jr, 2019; Fagundes; Corrê, 2020; Valente, 2022; Oliveira; Farias, 2023; Siqueira *et al.*, 2021).

Além disso, o uso do asfalto-borracha permite a redução da espessura do revestimento, diminui a emissão sonora e melhora a qualidade de vida nas regiões urbanas e rurais, ao passo que aumenta a impermeabilização do pavimento e contribui para maior durabilidade, evitando a necessidade de recapeamentos frequentes. A resistência ao envelhecimento e à oxidação prolonga o tempo de vida útil do pavimento, diminuindo a demanda por novas intervenções e, consequentemente, os impactos ambientais associados a obras de reparo e manutenção (Fagundes; Corrê, 2020; Carvalho; Almeida; Junior, 2020; Siqueira *et al.*, 2021; Valente, 2022).

A sustentabilidade do asfalto-borracha também se manifesta na diminuição da demanda por petróleo e agregados naturais, favorecendo práticas de economia circular. Ao transformar pneus descartados em matéria-prima útil, a técnica promove a reutilização de materiais não biodegradáveis

e contribui para a mitigação da poluição e para o desenvolvimento de políticas ambientais mais eficientes (Silva; Silva Jr, 2019; Akodedjro, 2024; Valente, 2022; Mignoli *et al.*, 2023).

A utilização do asfalto-borracha contribui significativamente para a redução da contaminação ambiental e prevenção de focos de doenças. A diminuição do descarte inadequado de pneus evita a proliferação de mosquitos vetores de doenças como dengue, febre amarela, Zika vírus e malária, além de controlar a presença de roedores. O manejo correto desses resíduos também reduz a poluição do solo e do ar, evitando a liberação de substâncias tóxicas provenientes da queima de pneus. Paralelamente, a técnica promove a economia de recursos naturais não renováveis, uma vez que parte do ligante asfáltico é substituída pela borracha reciclada, diminuindo a demanda por petróleo e asfalto virgem. Dessa forma, o uso do asfalto-borracha não apenas aumenta a sustentabilidade da pavimentação, como também gera impactos positivos na saúde pública e na preservação ambiental (Fagundes; Corrê, 2020; Valente, 2022; Oliveira; Farias, 2023; Akodedjro, 2024).

4.4. Benefícios Gerais- Vantagens Técnicas, Econômicas e Ambientais

Além de suas vantagens técnicas, econômicas e ambientais, o emprego do asfalto-borracha apresenta benefícios gerais que reforçam sua relevância para a pavimentação moderna. A melhoria da trafegabilidade e da segurança é um dos aspectos mais relevantes, pois o material proporciona maior aderência e reduz o risco de acidentes, sobretudo em condições adversas. Outro ponto importante é o conforto oferecido aos usuários, principalmente pela redução do ruído gerado pelo tráfego, o que impacta positivamente na qualidade de vida da população que reside próxima às vias. Do ponto de vista socioeconômico, a aplicação do asfalto-borracha estimula a economia local, seja pela geração de empregos diretos e indiretos, seja pela criação de uma cadeia produtiva voltada ao reaproveitamento de pneus inservíveis, alinhando-se às políticas de logística reversa e sustentabilidade. Além disso, trata-se de uma técnica versátil e promissora, capaz de ser aplicada em diferentes regiões do país, incluindo áreas semiáridas, demonstrando potencial de expansão e consolidação como alternativa sustentável e eficiente (Marvila, Tiepo, 2017; Oliveira; Farias, 2023).

4.5. Desvantagens e Desafios da Aplicação do Asfalto Borracha

Apesar das vantagens, a aplicação do asfalto-borracha apresenta desafios técnicos e econômicos relevantes. Do ponto de vista técnico, a mistura exige maior controle tecnológico, mão de obra altamente qualificada e temperaturas de processamento mais elevadas, devido à maior viscosidade do ligante. Esses fatores podem aumentar os riscos ocupacionais, incluindo exposição a gases poluentes, fumaça e odor intenso, exigindo equipamentos de proteção individual e monitoramento ambiental rigoroso (Silva; Silva Jr, 2019; Fagundes; Corrê, 2020; Siqueira *et al.*, 2021; Valente, 2022; Akodedjro, 2024).

O custo inicial elevado representa outro desafio. Além do investimento em equipamentos específicos, máquinas adaptadas e infraestrutura adequada para o processamento da borracha, há necessidade de logística eficiente para coleta e transporte dos pneus, bem como capacitação de profissionais para a aplicação correta da tecnologia. Em alguns casos, o processo “Mistura em Fábrica” exige planejamento rigoroso, pois a mistura possui limite temporal para aplicação, o que

impacta diretamente na execução de obras em regiões distantes de usinas (Silva; Silva Jr, 2019; Oliveira; Farias, 2023; Akodedjro, 2024).

Além disso, embora o material seja vantajoso a longo prazo, a difusão da tecnologia ainda é limitada. A escassez de conhecimento técnico, a necessidade de conscientização e treinamento de profissionais e a complexidade da cadeia de fornecimento de pneus reciclados dificultam a adoção em larga escala, especialmente em países em desenvolvimento (Silva; Silva Jr, 2019; Fagundes; Corrês, 2020; Siqueira *et al.*, 2021; Akodedjro, 2024).

Apesar dessas limitações, os estudos demonstram que os benefícios técnicos, econômicos e ambientais do asfalto-borracha superam os desafios, tornando-o uma alternativa promissora e sustentável para a pavimentação rodoviária. A consolidação da tecnologia depende de investimentos em capacitação, infraestrutura e pesquisa, mas os ganhos a médio e longo prazo justificam o esforço para sua implementação em contextos urbanos, rodoviários e regionais que enfrentam problemas de durabilidade do pavimento e gestão inadequada de resíduos sólidos (Marvila; Tiepo, 2017; Fagundes; Corrês, 2020; Carvalho; Almeida; Junior, 2020; Siqueira *et al.*, 2021; Pereira, 2021; Valente, 2022; Mignoli *et al.*, 2023; Oliveira; Farias, 2023; Akodedjro, 2024).

5. CONSIDERAÇÕES

O asfalto-borracha combina alto desempenho estrutural, viabilidade econômica e responsabilidade ambiental, tornando-se uma alternativa eficiente e sustentável frente aos asfaltos tradicionais. Sua adoção estratégica pode contribuir significativamente para a melhoria da infraestrutura rodoviária, para a gestão adequada de resíduos sólidos e para a implementação de práticas de construção mais sustentáveis, sendo especialmente relevante para regiões que enfrentam problemas de durabilidade do pavimento e descarte inadequado de pneus.

A partir dos objetivos conclui-se que foi possível identificar a viabilidade da utilização de asfalto borracha em pavimentações. Economicamente, apesar do custo inicial mais elevado, o asfalto-borracha proporciona maior rentabilidade a médio e longo prazo. A redução na frequência de manutenção, aliada à possibilidade de reduzir a espessura do revestimento sem comprometer a integridade estrutural, contribui para diminuição de custos operacionais e aumento da eficiência financeira das obras.

No âmbito ambiental, a tecnologia se destaca por promover a reutilização de pneus descartados, mitigando impactos negativos associados ao acúmulo desses resíduos em aterros e lixões. Tecnicamente uso do asfalto-borracha contribui para reduzir a demanda por recursos naturais, como asfalto virgem e petróleo, e diminuindo a emissão de poluentes e ruído gerado pelo tráfego. Essas características tornam o material alinhado às práticas de sustentabilidade e às legislações ambientais vigentes, demonstrando seu potencial de inserção em políticas públicas de gestão de resíduos sólidos e infraestrutura sustentável.

Entretanto, a implementação do asfalto-borracha enfrenta desafios que demandam atenção e planejamento. A necessidade de mão de obra qualificada, maior controle tecnológico durante a produção e aplicação, temperaturas elevadas de processamento, investimento em equipamentos específicos e logística adequada para coleta de pneus representam barreiras que devem ser

superadas para viabilizar a adoção em larga escala. A difusão da tecnologia também depende da capacitação de profissionais e da conscientização sobre os benefícios econômicos, técnicos e ambientais, especialmente em regiões que ainda utilizam predominantemente pavimentos convencionais.

REFERÊNCIAS

AKODEDJRO, E. **O asfalto borracha em Benim**: Estudo bibliográfico, viabilidade e desempenho estrutural. 2024. 48 f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal do Pará, Belém. 2024. Disponível em: <https://bdm.ufpa.br/server/api/core/bitstreams/b52de641fd57437ca625463fa2ea1b5a/content>. Acesso em: 01 jun. 2025.

AMARAL, R. S.; SILVA, D. S.; COSTA, F. P. **Pavimentação urbana**: desafios e soluções. São Paulo: Barbato Engenharia, 2021. Disponível em: <https://barbatoeng.com.br/pavimentacao-urbana/>. Acesso em: 29 ago. 2025.

ANIP. **Produção e vendas**. [S. l.]: ANIP, 2024. Disponível em: <http://www.anip.com.br/arquivos/producao-vendas.pdf>. Acesso em: 09 de abr. 2025.

BERNUCCI, L. B.; MOTTA, L. M. G.; CERATTI, J. A. P.; SOARES, J. B. **Pavimentação asfáltica**: formação básica para engenheiros. Rio de Janeiro: Petrobras: ABEDA, 2. Ed. 2022. 750 p. Disponível em: <https://triunfotransbrasiliana.com.br/wp-content/uploads/2022/07/PA-Completo-2022.pdf>. Acesso em: 27 ago. 2025.

BRASIL. **Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010**. "Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências." - Data da legislação: 02/08/2010 - Publicação DOU, de 03/08/2010. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=636>. Acesso em: 17 abr. 2025.

BRASIL. **Resolução CONAMA nº 416 de 30 de setembro de 2009**. Dispõe sobre a prevenção à degradação ambiental causada por pneus inservíveis e sua destinação ambientalmente adequada, e dá outras providências. Diário Oficial da União. Brasília. DF. 01 out. 2009. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=616>. Acesso em: 12 abr. 2025.

CARVALHO, K. C. C. R. D.; ALMEIDA, R. F. P. D.; JUNIOR, V. D. L. Análise de viabilidade econômica e ambiental do asfalto-borracha em relação aos pavimentos do tipo TSD e CBUQ. **R. gest. sust. ambient.**, Florianópolis, v. 9, n. 3, p. 829-846, jul/set. 2020. Disponível em: https://portaldeperiodicos.animaeducacao.com.br/index.php/gestao_ambiental/article/view/8536/5410. Acesso em: 29 jun. 2025.

CATAPRETA, C. A. A.; LOYOLA, L. A. D. J.; ZAMBIASI, C. A. Uso da borracha de pneus na pavimentação como uma alternativa ecologicamente viável. *In: VII Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental Campina Grande/PB*, 2016. Disponível em: <https://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2016/III-084.pdf>. Acesso em: 12 abr. 2025.

CEMPRE - COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM. **Fique por dentro da reciclagem de resíduos**. [S. l.]: Cempre, 2025. Disponível em: <https://cempre.org.br/pneus/>. Acesso em: 22 abr. 2025.

CNT - CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. **Brasil tem apenas 12,3% da malha rodoviária com pavimento**. Conforme a Pesquisa CNT de Rodovias 2016, expansão da infraestrutura não acompanha crescimento da frota de veículos. [S. l.]: CNT, 2021. Disponível em: <https://cnt.org.br/agencia-cnt/brasil-tem-apenas-12-da-malha-rodoviaria-com-pavimento>. Acesso em: 22 maio 2025.

FAGUNDES, F. D.; CORREA, W. Uso da borracha de pneus na pavimentação como alternativa ecologicamente viável no estado de Minas Gerais. In: **Anais do 3º Simpósio de TCC, das faculdades FINOM e Tecsuma**. 2020. p. 745-768. Disponível em: <https://finom.edu.br/assets/uploads/cursos/tcc/202102051402384.pdf>. Acesso em: 18 ago. 2025.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo 2022: **Características Urbanísticas do Entorno dos Domicílios**. Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em: <https://censo2022.ibge.gov.br/panorama/>. Acesso em: 02 jun. 2025.

MARTINS, A. B. **Patologias e técnicas sustentáveis de pavimentação**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade do Oeste de Santa Catarina, Joaçaba, 2021. Disponível em: <https://www.unifacvest.edu.br/assets/uploads/files/arquivos/3549a-martins%2C-a.-patologias-e-tecnicas-sustentaveis-de-pavimentacao%2C-2021.-tcc-defendido-em-julho-de-2021.pdf>. Acesso em: 19 maio 2025.

MARTINS, MMU. **Pavimentação Asfáltica: Asfalto Ecológico e Sustentabilidade**. Monografia – UniAtenas, 2020. Disponível em: <https://www.atenas.edu.br/uniatenas/assets/files/spic/monography/PAVIMENTACAO ASFALTICA asfalto ecologico.pdf>. Acesso em: 29 ago. 2025.

MARVILA, P. L. C.; TIEPO, A. **Estudo da Viabilidade Técnica da Utilização de Asfalto-Borracha nas Obras de Pavimentação**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e Consórcio Univias, 2017. Disponível em: https://repositorio.pgsscogna.com.br/bitstream/123456789/58318/1/PEDRO_LUCAS.pdf. Acesso em: 29 ago. 2025.

MENDES, Gilberto Cândido Rodrigues. **Estudo sobre a aplicação de asfalto-borracha no Brasil**. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, 2019. Disponível em: <https://tede2.pucgoias.edu.br/bitstream/tede/4173/2/Gilberto%20C%C3%A2ndido%20Rodrigues%20Mendes.pdf>. Acesso em: 29 ago. 2025.

MIGNOLI, A. M. Q.; JESUS, V. C. R de; VILELA, V. J. G.; XAVES, R. F.; COSTA, E. D. Estudo comparativo do asfalto-borracha em relação ao cimento Asfáltico de petróleo (50/70) convencional. **Anais do 14º Fórum Científico UNIFUNEC: Educação, Ciência e Tecnologia**, 25 a 28 de setembro, Santa Fé do Sul (SP), v. 14, n. 14, 2023. Disponível em: <https://seer.unifunec.edu.br/index.php/forum/article/view/6054>. Acesso em: 20 abr. 2025.

NOGUEIRA, G.; OLIVEIRA, A. P. D.; MARQUES, D. D. M.; CASTRO, S. B.; BUDELON, A. S. Uso da borracha de pneus inservíveis como adição no asfalto para manutenção de estradas. **Revista Uniaraguaia** (Online), Goiânia, v. 15 n. 1 jan./abr. 2020 85. Disponível em: <https://www.fara.edu.br/sipe/index.php/REVISTAUNIARAGUAIA/article/view/935>. Acesso em: 20 abr. 2025.

OLIVEIRA, M. E.; FARIAS, R. M. D. S. Viabilidade de implantação do asfalto borracha na pavimentação rodoviária de municípios do sertão pernambucano. **Revista Multidisciplinar do Sertão**, v. 5, n. 1, p. 20-28, 31 mar. 2023. Disponível em: <https://revistamultisert1.websiteseuro.com/index.php/revista/article/view/525>. Acesso em: 18 abr. 2025.

PEREIRA, V. **Estudo da viabilidade da substituição do asfalto convencional elaborado com CAP 50/70 por asfalto borracha em vias urbanas de Campo Mourão - PR**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2021. Disponível em: <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/32577>. Acesso em: 20 ago. 2025.

SILVA, G. C.; SILVA JÚNIOR, F. V. Análise de viabilidade técnico financeira da aplicação do asfalto borracha em rodovias do Tocantins. **Engineering Sciences**, v. 7, n. 2, p. 69-76, 2019.

Disponível em: <https://sustenere.inf.br/index.php/engineeringsciences/article/view/CBPC2318-3055.2019.002.0008>. Acesso em: 19 jun. 2025.

SILVA, L. S.; MOUTA, J. R.; COSTA, M. C.; GOMES, L. C. Concreto com borracha de recauchutagem de pneu para uso em pavimentação de baixo tráfego. **Revista Matéria** (Rio J.), v. 24, n. 2, 10 June 2019. DOI: 10.1590/S1517-707620190002.0676. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1517-70762019000200321. Acesso em: 20 abr. 2025.

SIQUEIRA, C. T.; BARBOSA, C. C.; GERALDO, C. A.; VITAL, R. B. N. Utilização de asfalto-borracha na restauração da pavimentação da rodovia RJ-122. **Revista Teccen.**, v. 14, n. 1, p. 28-32, 2021, jan./jun. 2021. Disponível em: <https://editora.univassouras.edu.br/index.php/TECCEN/article/view/2530>. Acesso em: 29 jun. 2025.

VALENTE, K. **Análise de Viabilidade Baseada nos Conceitos do Tripple Bottom Line do Uso de Asfalto Ecológico com Adição de Borracha de Pneus Inservíveis em Substituição do Asfalto Convencional**: O caso do Polo Rodoviário de Pelotas. Orientadora Prof^a. Dr^a. Patrícia Costa Duarte. 2022. 74f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado Engenharia de Produção) - Centro de Engenharias, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2022. Disponível em: <https://pergamum.ufpel.edu.br/pergamumweb/vinculos/0000e4/0000e4b5.pdf>. Acesso em: 25 ago. 2025.

VUCOVIC, N. F. **Avaliação de alternativas para descarte e reuso de pneus**: Incorporação na massa asfáltica para produção de asfalto borracha. 2021. 35 f. Trabalho de conclusão de curso – Universidade Federal de São Paulo, Instituto de Ciência e Tecnologia, São José dos Campos, 2021. Disponível em: <https://repositorio.unifesp.br/items/c78a00e4-b4ae-4471-95e1-2b42f2418c2d>. Acesso em: 20 abr. 2025.