



**CENTRO UNIVERSITÁRIO REGIONAL DA BAHIA  
BACHAREL EM ENGENHARIA CIVIL**

**YURI ALEX MALAQUIAS DE MELO**

**O USO DE BORRACHA DE PNEUS NA PAVIMENTAÇÃO: REVISÃO  
INTEGRATIVA**

Salvador - BA  
2022

YURI ALEX MALAQUIAS DE MELO

**O USO DE BORRACHA DE PNEUS NA PAVIMENTAÇÃO: REVISÃO  
INTEGRATIVA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil do Centro Universitário Regional do Brasil, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Professor Orientador: Prof. Me. Adson Gomes

Salvador - BA  
2022

**BIBLIOTECA ZUZA PEREIRA / CENTRO UNIVERSITÁRIO UNIRB**

Melo, Yuri Alex Malaquias de

O uso de borracha de pneus na pavimentação: revisão integrativa /  
Yuri Alex Malaquias de Melo. – Salvador - BA, 2022.

XLI, 41 f. : il. ; 29 cm.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil)  
Centro Universitário Regional da Bahia - UNIRB, Campus Salvador -  
BA, 2022.

Orientador: Prof. Me. Adson Gomes.

Inclui referências.

1. Pneus. 2. Asfalto borracha. 3. Sustentabilidade. I. Título. II.  
Gomes, Adson. III. Centro Universitário Regional da Bahia.

CDD: 624

YURI ALEX MALAQUIAS DE MELO

**O USO DE BORRACHA DE PNEUS NA PAVIMENTAÇÃO: REVISÃO  
INTEGRATIVA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito para obtenção do grau de Bacharelado em Engenharia Civil no Centro Universitário Regional da Bahia.

Aprovado em 01 de julho de 2022.

Banca Examinadora

---

Prof. Me. Adson Gomes – Orientador  
Centro Universitário Regional da Bahia- UNIRB

---

Prof. Me. Reiner Requião  
Centro Universitário Regional da Bahia - UNIRB

---

Rubens Molina  
Engenheiro Civil

## RESUMO

Observa-se que o aumento do consumo de pneus possui um imenso impacto relacionado aos aspectos ambientais, sociais e econômicos, uma vez que, a capacidade de produção de rejeitos sólidos do homem não se iguala a capacidade do meio ambiente em degrada-los. Trazendo como objetivo deste estudo, descrever o uso da borracha de pneus reciclados associados a pavimentação asfáltica e a política ambiental sustentável da atualidade. Apresentando as principais técnicas de pavimentação utilizadas atualmente; identificando limitações nos projetos de pavimentação asfáltico em contrapartida ao uso da borracha de pneus; Descrevendo vantagens e desvantagens com o uso do material aditivo proposto; bem como correlacionar o uso da borracha de pneus com os parâmetros previstos na política internacional do desenvolvimento sustentável. Trata-se de uma revisão integrativa e qualitativa da literatura, com levantamento dos artigos a partir das bases de dados: SciELO, ScienceDirect, Scopus e Periódicos CAPES. A resistência entre o asfalto convencional e o asfalto incorporado com a borracha triturada é gritante, já que todos os estudos apontam como resultados o asfalto borracho com uma resistência superior a resistência do asfalto convencional ou maior do que qualquer outro asfalto associado por qualquer outro tipo de polímero. Com o estudo realizado observamos que a quantidade de informação sobre o tema é cada vez mais frequente, assegurado pela parte econômica e ambiental. Este estudo buscou conceituar e expor benefícios e limitações econômicas impostas pelas características da ligação da borracha ao pavimento

**Palavras-chave:** Pneus, Pavimentação, Asfalto borracha, Sustentabilidade.

## ABSTRACT

Observed that the increase in the consumption of tires has an immense impact related to environmental, social and economic aspects, since the production capacity of human solid waste does not equal the capacity of the environment to degrade them. With the objective of this study, to describe the use of rubber from recycled tires associated with asphalt paving and the current sustainable environmental policy. Presenting the main paving techniques currently used; identifying limitations in asphalt paving projects in contrast to the use of tire rubber; Describing advantages and disadvantages with the use of the proposed additive material; as well as to correlate the use of tire rubber with the parameters foreseen in the international policy of sustainable development. This is an integrative and qualitative literature review, with a survey of articles from the following databases: SciELO, ScienceDirect, Scopus and CAPES Periodicals. The resistance between the conventional asphalt and the asphalt incorporated with the crushed rubber is striking, since all the studies indicate as results the rubber asphalt with a resistance superior to the resistance of the conventional asphalt or greater than any other asphalt associated by any other type of polymer. With the study carried out, we observed that the amount of information on the subject is increasingly frequent, ensured by the economic and environmental part. This study sought to conceptualize and expose economic benefits and limitations imposed by the characteristics of the rubber bond to the pavement.

**Keywords:** Tire, Asphalt paving, Asphalt-rubber, Sustainability.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1 -</b>	Partes do pneu.....	16
<b>Figura 2 -</b>	Ciclo da logística reversa.....	17
<b>Figura 3 -</b>	Pneus descartados de forma incorreta.....	18
<b>Figura 4 -</b>	Tipos de pavimento.....	22
<b>Figura 5 -</b>	Pavimento Rígido.....	22
<b>Figura 6 -</b>	Pavimento Flexível.....	23
<b>Figura 7 -</b>	Pavimento Semirrígido.....	23
<b>Figura 8 -</b>	Tipos de granulados de pneus.....	26
<b>Figura 9 -</b>	Ciclo processamento de pneus inservíveis.....	27
<b>Figura 10 -</b>	Erosão do solo, erros e falhas na pavimentação.....	28
<b>Figura 11 -</b>	Deformações irreversíveis no asfalto borracha.....	29
<b>Figura 12 -</b>	Fluxograma: Seleção e incorporação dos artigos nas bases de dados .....	32

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1</b> -	Diferença entre as pavimentações.....	24
<b>Quadro 2</b> -	Os meios de incorporação da borracha.....	25
<b>Quadro 3</b> -	Organização dos artigos pesquisados, ordenados por ano de publicação.....	33



## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1 -</b>	Comparativo econômico de execução de CBUQ convencional revestimento CBUQ com asfalto-borracha.....	30
<b>Tabela 2 -</b>	Custo de usinagem e aplicação.....	36
<b>Tabela 3 -</b>	Custo de execução e manutenção durante 7 anos.....	37

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

<b>ABNT</b>	Associação Brasileira de Normas Técnicas
<b>ACV</b>	Avaliação do Ciclo de Vida
<b>CAP</b>	Cimento Asfáltico de Petróleo
<b>CBUQ</b>	Concreto Betuminoso Usinado a Quente
<b>CONAMA</b>	Conselho Nacional do Meio Ambiente
<b>ISO</b>	International Organization for Standardization
<b>NBR</b>	Norma Brasileira Regulamentadora
<b>PNRS</b>	Política Nacional de Resíduos Sólidos

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>12</b>
<b>1.1</b>	<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>14</b>
1.1.1	Objetivo Geral.....	14
1.1.2	Objetivos Específicos.....	14
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>15</b>
2.1	Pneus e a Logística Reversa.....	15
2.2	Os Aspectos Ambientais do descarte incorreto de pneus em desuso.....	18
2.2.1	A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV).....	20
2.3	Conceituando Pavimentação e suas Técnicas .....	21
2.3.1	Asfalto Borracha ou Asfalto Ecológico.....	25
2.3.2	Durabilidade do asfalto convencional versus de durabilidade do asfalto borracha.....	27
2.3.3	Asfalto borracha e suas vantagens e desvantagens.....	29
2.3.4	Asfalto borracha e as limitações econômicas.....	29
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>31</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>33</b>
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>38</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>39</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O aumento da produção de bens e serviços influenciam diretamente no uso de automóveis, caminhões, aviões e motos, consecutivamente, no aumento do consumo e da necessidade de troca dos pneus usados por novos. Assim, observa-se que a atual logística de consumo possui um imenso impacto relacionado aos aspectos ambientais, sociais e econômicos, uma vez que, a capacidade de produção de rejeitos sólidos do homem não se iguala a capacidade do meio ambiente em degradá-los (FLORIANI; FURLANETTO; SEHNEM, 2016).

Segundo o site do Sest Senat, “cerca de 450 mil toneladas de pneus são descartadas por ano, dos quais levam em média 600 anos para se decomporem”. Além disso, o descarte incorreto dos pneus velhos aflige a saúde pública por contribuir com a proliferação de vetores de inúmeras doenças. Esse fato, reforça orientação sobre a necessidade de reaproveitamento e o correto descarte dos artefatos sólidos ambientalmente resistentes (SEST SENAT, 2017).

Uma das formas de reaproveitando desse material tão resistente e de tão fácil acesso é soma-lo na produção do pavimento asfáltico. Associa-se a borracha granulada extraída dos pneus usados para a confecção do pavimento asfalto borracha, contribuindo com a redução do consumo de massa asfáltica e o custo de manutenção de vias e rodovias (FAGUNDES; CORREA, 2019).

Agregando ao desenvolvimento sustentável as ações estratégicas da engenharia civil vão além dos aspectos econômicos financeiros, direcionam a sociedade a um novo futuro, fazendo com que este estudo se justifique na busca constante da melhoria social por meio da engenharia civil, afim de utilizar fundamentos metodológicos em prol de execuções de melhores obras, principalmente de vias e rodovias, meios que agregam diretamente na economia do país e do mundo.

Uma vez que muito pavimentos rodoviários possuem desgaste estrutural rápido e ordinário. Viabilizar o desenvolvimento deste estudo buscando responder à problematização: Qual a probabilidade do uso da borracha de pneus velhos na construção civil, visando o alcance da política ambiental sustentável? Desta forma

busca-se traçar objetivos que conduzam a resultados focados na revisão de literatura proposta.

## **1.1 OBJETIVOS**

### 1.1.1 Objetivo Geral

Descrever o uso da borracha de pneus reciclados associados à pavimentação asfáltica, com foco ao atendimento da política ambiental sustentável.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- Apresentar as principais técnicas de pavimentação utilizadas atualmente;
- Identificar limitações nos projetos de pavimentação asfáltico em contrapartida ao uso da borracha de pneus;
- Descrever vantagens e desvantagens com o uso do material aditivo proposto;
- Correlacionar o uso da borracha de pneus com os parâmetros previstos na política internacional do desenvolvimento sustentável.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

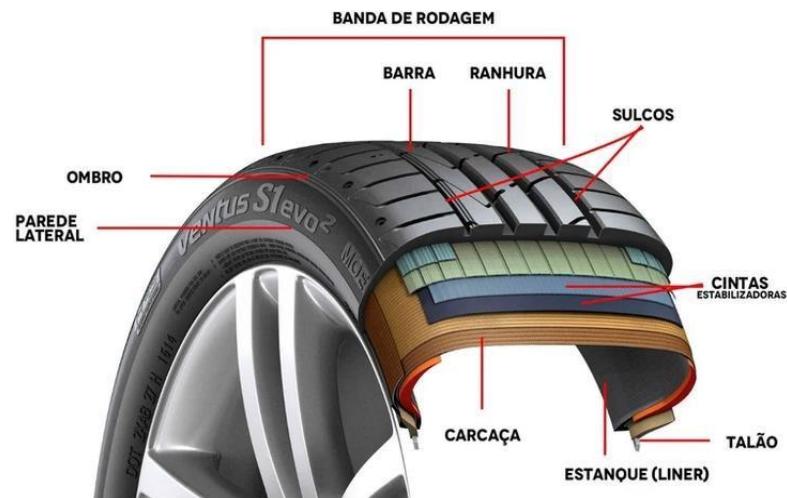
Visando atender aos objetivos propostos nesse estudo é fundamental o conhecimento a respeito da logística reversa, legislação que regulamenta o desenvolvimento nacional dos tipos de pavimento assim como suas vantagens e desvantagens e as características geográficas regionais brasileiras. Tais informações serão apresentadas no decorrer do trabalho.

### 2.1 Pneus e a Logística Reversa

De acordo com LoPresti, (2013), os principais componentes de um pneu são a banda de rodagem, a carroceria, as paredes laterais e os talões. O piso é de alto padrão em contato com a estrada. O corpo suporta o piso e dá ao pneu uma forma específica. Os grânulos são os chicotes de fios de metal cobertos de borracha que prendem o pneu à roda. As características inerentes dos pneus são as mesmas em todo o mundo. Eles incluem: resistência a mofo, calor e umidade, retarda o crescimento bacteriano, luz solar, proteção UV, alguns óleos, muitos solventes, ácidos e outros produtos químicos. Outras propriedades físicas incluem sua não biodegradabilidade, não toxicidade, peso, forma e elasticidade. No entanto, muitos dos recursos que são benéficos em sua vida útil como produto de consumo são prejudiciais em sua vida pós-consumo e podem apresentar problemas para coleta, armazenamento e/ou descarte.

A estrutura de um pneu comum, do tipo utilizado em veículos de passeio, é composta por diversos químicos e diversas estruturas, além da borracha natural e sintética. A Figura 1, representa um corte radial feito no pneu, onde nota-se precisamente as estruturas que compõem um pneu (SANTOS; LIMA, 2021).

**Figura 1: Partes do pneu**



**Fonte:** <https://www.blog.acheipneus.com.br>, 2021.

A degradação paulatina do pneu torna-o, a certo prazo, inservível, resultando em um resíduo sólido altamente poluente para o meio ambiente, uma vez que a sua composição, além de borrachas, possui inúmeros metais pesados poluidores do solo como cádmio, chumbo e zinco. Logo, a necessidade de um controle para o descarte dos pneus inservíveis evoluiu adjunto a sua produção (SANTOS; LIMA, 2021).

As preocupações relacionadas aos aspectos ambientais trabalham com o fluxo de produção e pós-consumo do produto, denominando esse fluxo como logística reversa. A Figura 2 expressa o ciclo produzido pela logística reversa, buscando assegurar o devido descarte, quantificar o volume de resíduos produzidos e apontar uma abordagem de reaproveitamento dos materiais (LEITE *et al.* 2017).



**Figura 2: Ciclo da logística reversa**



**Fonte:** <https://dpadv.com.br>, 2021.

O reaproveitamento trabalhado pela logística reversa constitui em uma análise embasada em mediações de parâmetros de sustentabilidade e revelam o impacto que a estratégia de consumo possui na sociedade. A estratégia de logística reversa é vista como instrumento de desenvolvimento econômico, social e ambiental, caracterizado por um conjunto de ações destinados a viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial (SOARES *et al.* 2016).

A premissa é de que o fabricante, o distribuidor, o comerciante e o consumidor final do produto se responsabilizem pelo retorno da produção posta em mercado, permitindo um detalhamento da massa total de consumo e tendo como obrigatoriedade comercial a apresentação de relatórios contendo informações sobre o quantitativo e o percentual efetivamente reencaminhado para as indústrias de reciclagem. Conceituando, desta forma, uma política de responsabilidade compartilhada (FERNANDES *et al.* 2020).

Deste modo, as políticas ambientais como a Resolução nº 416/09, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) e a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela Lei 12.305/10, que dispõe sobre a prevenção à degradação ambiental causada por pneus inservíveis e seu descarte ambientalmente adequado e os danos ambientais causados pelos pneus, consecutivamente, são algumas das políticas que fundamentam a logística reversa, principalmente quando tratamos pneus de borracha (GONÇALVES *et al.* 2019).

## 2.2 Os Aspectos Ambientais do Descarte Incorreto de Pneus em Desuso

O impacto ambiental significativo surge devido às intervenções não benéficas do homem ao meio ambiente. Um grande exemplo disso é o descarte dos pneus inservíveis em aterros, lagos, rios e córregos, assim como exposto na Figura 3. O abandono desse material no meio ambiente gera um processo de disseminação de doenças, potencialmente letais ao homem, além de um potente encadeamento de poluentes sólidos, líquidos e gasosos contaminando o ecossistema como um todo (OLIVEIRA, 2019).

**Figura 3: Pneus descartados de forma incorreta**



**Fonte:** Christófani *et al.* (2017)

Considerando o uso corriqueiro de pneus no dia a dia e seu alto teor poluente, a Lei 12.305/10, buscou manobras para a realização de uma prática de sustentabilidade vinculada ao gerenciamento de materiais com risco para o meio ambiente, abordando os problemas de redução das fontes de fornecimento, problemas de reciclagem e problemas de coleta e disposição do material descartado (GONÇALVES *et al.* 2019).

No art.º 7 da Lei 12.305/10 expõem como um dos seus objetivos:

[...] II - não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos, bem como disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos; [...]; XIII - estímulo à implementação da avaliação do ciclo de vida do produto; XIV - incentivo ao desenvolvimento de sistemas de gestão ambiental e empresarial voltados para a melhoria dos processos produtivos e ao

reaproveitamento dos resíduos sólidos, incluídos a recuperação e o aproveitamento energético (BRASIL, 2012, p. 12).

O incentivo legal ao desenvolvimento do sistema de gestão ambiental auxilia no aprimoramento do uso dos materiais de produção, conscientizando, de que os recursos são esgotáveis e o desenvolvimento de novas tecnologias e materiais para serem utilizados geram um equilíbrio entre a formação dos recursos com a proteção do ambiente (SOARES *et al.* 2016).

Encontrar o equilíbrio entre os aspectos ambientais e sociais é essencial no campo da engenharia civil, um dos principais elementos de intervenção do meio ambiente. Como uma das maiores modificadoras do meio ambiente, a engenharia civil impõe um grande papel para a área da sustentabilidade social, buscando sempre um meio de descarte correto dos elementos altamente agressivos ao meio ambiente (ALMEIDA; GOMES, 2018).

Para retirada dos materiais arco de borracha descartados ao meio ambiente, usa-se à recauchutagem como uma alternativa para minimização da produção de novos pneus, e para os que apresentam incompatibilidade para a recauchutagem são direcionados a produção de resíduo de borracha, associando tal resíduo na pavimentação asfáltica (SILVA *et al.* 2015).

A utilização de resíduo de borracha reciclada em misturas para pavimentos asfálticos, reduz a disposição dos pneus em aterros, lagos, rios e córregos, e reduz a quantidade de materiais que são extraídos da natureza como o cimento e o betume, para a produção de novos produtos, sendo assim a reciclagem mostra-se como uma tecnologia eficaz, tanto ambientalmente quanto na redução de custo a curto e longo prazo (SOARES *et al.* 2016).

Logo, para uma gestão de reaproveitamento de materiais como a borracha leva-se em consideração a ferramenta de controle de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), do produto. O uso da ACV é uma alternativa viável para que a prática de sustentabilidade seja vinculada a produção e o consumo de pneus, uma vez que esta ferramenta busca medir o impacto ambiental que cercam todas as etapas de produção, distribuição, utilização e reciclagem do produto (SPADOTTO *et al.* 2011).

### 2.2.1 A avaliação do ciclo de vida (ACV)

A avaliação do ciclo de vida (ACV) trata-se de uma prática de gestão elaborada por meio do mapeamento dos trajetos de produção. Utilizando o controle direto do sistema de produção para definição do escopo da análise. A ACV segue os padrões estabelecidos pelas normas da International Organization for Standardization (ISO) 14040/06 e 14044/06, proporcional a Norma Brasileira Regulamentadora (NBR) (LIMA, 2013).

NBR ISO 14040 (2006, p. 2), norma equivalente à ISO 14040:1997, expõem:

A ACV é uma das várias técnicas de gestão ambiental (por exemplo, avaliação de risco, avaliação de desempenho ambiental, auditoria ambiental e avaliação de impacto ambiental) e pode não ser a técnica mais apropriada a ser empregada em todas as situações. Tipicamente, a ACV não aborda os aspectos econômicos ou sociais de um produto (NBR, ISO 14040, 2006, p. 02).

Trata-se de uma metodologia de controle diretamente impactante ao meio ambiente com o objetivo de avaliar o desempenho do sistema de produção do produto em uma análise considerada “do berço à sepultura”. Desenvolvida em quatro etapas: na primeira e na segunda etapa, a ACV qualitativa e quantitativa as dimensões da análise ambiental e sua unidade funcional. Na terceira e na quarta etapa, realiza-se o relacionamento e as ponderações de impactos ambientais em cada etapa de produção (BRASIL, 2016).

NBR ISO 14040 (2006, p. 2), *apud* ISO 14040/97, expõem:

A fase de avaliação de impacto do ciclo de vida (AICV) é a terceira fase da ACV. O objetivo da AICV é prover informações adicionais para ajudar na avaliação dos resultados do ICV de um sistema de produto, visando ao melhor entendimento de sua significância ambiental. A interpretação do ciclo de vida é a fase final do procedimento de ACV, na qual os resultados de um ICV e/ou de uma AICV, ou de ambos, são sumarizados e discutidos como base para conclusões, recomendações e tomada de decisão de acordo com a definição de objetivo e escopo (NBR ISSO 14044, 2006, p. 06).

A ACV estabelece princípios fundamentais que são indicados como um guia para a tomada de decisões relacionadas ao planejamento e implementação de ACVs. A ACV considera todo o ciclo de vida de um produto, desde a extração e aquisição de matérias-primas, até a produção de energia e materiais, fabricação, uso, tratamento em fim de vida e disposição final. Com base nessa visão e perspectiva sistemáticas,

as transferências de potenciais cargas ambientais entre estágios do ciclo de vida ou entre processos individuais podem ser identificadas e possivelmente evitadas.

Entretanto, uso da ACV para as avaliações de impacto ambiental no setor de engenharia civil apresenta diversas limitações, especialmente em comparação com outras aplicações industriais. Isso se deve ao fato de muitas empresas fornecedoras possuir receio de divulgar seu processo de produção por diversos motivos como a disputa de mercado, plágio no processo de produção ou divulgação de imagem negativa relacionada à empresa (BRASIL, 2016).

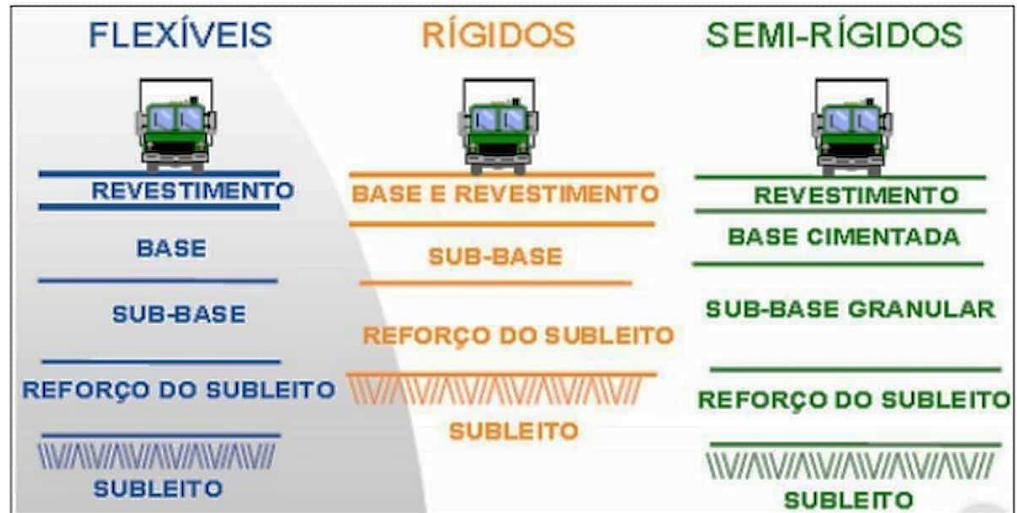
### 2.3 Conceituando Pavimentação e suas Técnicas

Em virtude da composição do pavimento convencional, alguns conjuntos de fatores interferem na sua durabilidade, fazendo com que as construções das malhas rodoviárias gerem altos custos aos cofres públicos. Assim, sob o ponto de vista da engenharia civil, a pavimentação associada a borracha granulada de pneus em desuso é eficiente devido a ser um material de baixo custo e resistente ao ponto de retardar a degradação prematura do pavimento, desenvolvendo e viabilizando a construção civil (MEDEIROS, 2019).

Segundo a NBR nº 7207/82, referente a pavimento, calçadas, faixas de rodagem ou chão, especifica os elementos da pavimentação, determinando sua aplicação nas diversas obras (ALMEIDA; GOMES, 2018).

A pavimentação é o processo constituído diversas camadas ao chão, sendo as principais: revestimento de base, sub-base e reforço do subleito. Cada camada com uma determinada espessura, o que concede ao pavimento determinada resistência esperada. Do ponto de vista estrutural, o pavimento são vias projetadas para suportar o tráfego somado às variações climáticas e subdivide-se em do tipo rígido, flexível e o semirrígido ou semiflexível ou pavimento concreto-cimento ou pavimento asfáltico. No Brasil, mais de 99% dos trechos das estradas usam o asfalto, um tipo de pavimento. (SILVA; PIMENTEL, 2021; FAGUNDES; CORREA, 2020). A Figura 4 observa-se a diferença dos pavimentos rodoviários.

Figura 4: Tipos de pavimento



Fonte: Fagundes; Correa, 2020.

A caracterização da pavimentação rígida é vista pelo revestimento feito por uma camada de concreto de cimento armado em cima das demais camadas. A Figura 5 exemplifica a pavimentação rígida. O concreto armado possui alta rigidez comparado às camadas que ficam abaixo do solo, absorvendo maiores tensões em relação aos esforços aplicados (SOARES *et al.* 2016).

Figura 5: Pavimento Rígido



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

Na pavimentação flexível, agrega-se misturas e ligantes asfálticos na composição de seu revestimento. A Figura 6 exemplifica a pavimentação flexível. A camada superior do pavimento impermeabiliza as camadas inferiores, ou seja, o revestimento asfáltico é a camada superior destinada a receber as cargas dos veículos. O pavimento flexível possui em sua constituição materiais betuminosos e não trabalha à tração (SILVA *et al*, 2018).

**Figura 6: Pavimento Flexível**



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

Já o pavimento semirrígido/semiflexível preserva características de ambos pavimentos citados anteriormente, por isso também é conhecido como pavimento concreto-cimento e pavimento asfáltico. A Figura 7 exemplifica a pavimentação semirrígida. A base é constituída por cimento com algum aglutinante com propriedades cimentícias, como por exemplo uma camada de solo-cimento (FAGUNDES; CORREA, 2020).

**Figura 7: Pavimentação Semirrígida**



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

Os tipos de elementos da pavimentação definem suas principais características, conforme o Quadro 1, a massa de concreto possui boas propriedades mecânicas e durabilidade, e embora não possuía uma alta resistência a trações. Já o

pavimento associado ao betume ou asfalto permite uma maior flexibilidade e resistência ao tráfego. A definição dos pontos de vulnerabilidade em cada pavimento, é observada mediante os fatores de mistura, intempérie climática e método de aplicação.

**Quadro 1:** Diferença entre as pavimentações

	<b>Pavimento Rígido</b>	<b>Pavimento Flexível</b>	<b>Pavimento Semi- Flexível</b>
<b>Material</b>	Concreto	Asfalto	Piso intercalado de concreto
<b>Tipo de estrutura</b>	Mais delgada de pavimento	Mais espessas (requer maior escavação e movimento de terra) e camadas múltiplas	Requer cuidados com a compactação do terreno. Espessura média do pavimento a partir de 4cm (para pessoas) e 6 a 8cm (para tráfego de veículos)
<b>Resistência química</b>	Resistente a ataques químicos (óleo, graxas e combustíveis)	É fortemente afetado por produtos químicos	Resistente à ataques químicos
<b>Manutenção</b>	Pequena necessidade de manutenção e conservação, o que mantém o fluxo de veículos sem interrupções	Necessário que faça várias manutenções e recuperações, com prejuízo ao tráfego e custos elevados	Baixa, sendo possível substituir peças
<b>Segurança</b>	Faltes de aderência das demarcações viárias, devido ao baixo índice de porosidade. Necessário vassouramento para aumentar o atrito	Melhor aderência das demarcações viárias, devido a textura rugosa e alta temperatura de aplicação. Maior possibilidade de a pista ficar escorregadia	Marcação viária feita com peças de outras cores, e, portanto, não há necessidade de remarcações. Atrito alto com pneus, aumentando a aderência
<b>Durabilidade</b>	Vida útil mínima de 20 anos	Vida útil mínima de 10 anos (com manutenção)	Vida útil mínima de 15 anos
<b>Custo Inicial</b>	Elevado	Baixo	Intermediário
<b>Tempo de execução</b>	Mais demorado	Mais rápido	Não necessita de cura, e pode ser liberado no mesmo dia
<b>Mão-de-obra</b>	Mecanizada ou não	Uso de maquinário específico	Mecanizada ou não

**Fonte:** Adaptado da Tetraconind (2019).



### 2.3.1 Asfalto Borracha ou Asfalto Ecológico

O pavimento flexível ou pavimento cimento asfáltico de petróleo (CAP), é classificado de acordo com o tipo de aglutinante, “ligante”, utilizado na sua forma de fabricação. Como qualquer outro material, o asfalto somado a borracha pode ser fabricado em uma fábrica dedicada ao preparo ou ser preparado no local da aplicação (NAKAMURA, 2011).

O pavimento asfáltico possui dois meios conhecidos para incorporação da borracha triturada de pneus velhos, transformando-o em pavimento asfalto borracha: um modo é conhecido como por meio úmido, no qual triturado de borracha é somado ao CAP, tendo uma maior homogeneidade, conforme é demonstrado no Quadro 2 e o outro modo é por meio do processo seco, onde o triturado de borracha substitui uma porção do CAP na mistura, obtendo um ligante é conhecido como concreto betuminoso usinado a quente modificado com a integração da borracha (ALMEIDA; GOMES, 2018).

**Quadro 2: Os meios de incorporação da borracha**

<b>Processo úmido (Asfalto Borracha)</b>	<b>Processo Seco (Agregado Borracha)</b>
Cimento asfáltico + Borracha	Cimento asfáltico
+	+
Agregado Pétreo	(Borracha + Agregado Pétreo)

**Fonte:** Silva; Pereira; Pinho, (2021).

Segundo Vucovic, (2021), há duas formas para triturar os pneus através de um processo mecânicos ou criogênicos. O processo mecânico ocorre à temperatura ambiente, e as partículas de borracha passam por vários estágios de esmagamento e diminuem gradualmente de tamanho. O aço contido na banda de rodagem da borracha do pneu é retirado com a ajuda de eletroímãs, e as fibras da lona são retiradas por peneiramento. Comparado ao processo criogênico, o mecânico é menos dispendioso, mais simples e mais flexível, além disso, a borracha deste processo possui excelentes propriedades físicas, pois a borracha não endurece da mesma forma quando sua temperatura é reduzida. Já o processo criogênico, o pneu é congelado, enfraquecendo a borracha do pneu, e as partículas são então reduzidas a tamanhos finos ou ultrafinos por um moinho de martelos.

Para a fabricação de um ligante de qualidade, é preciso o controle da qualidade da borracha inserida na mistura. Inicialmente, a borracha passa por um processamento que a transforma em grãos das mais variadas gramaturas assim como exposto na Figura 8.

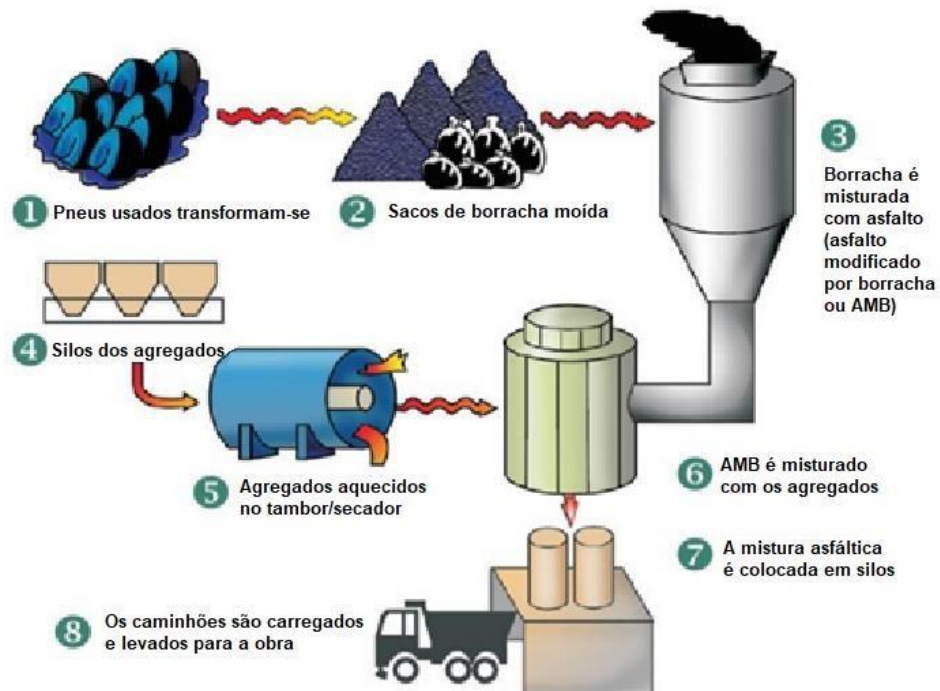
**Figura 8: Tipos de granulados de pneus**



**Fonte:** <http://www.skreciclagem.com.br>, (2020).

. De acordo com Soares *et al*, (2016), a abordagem da utilização dos pneus reciclados leva em consideração a gramatura do triturado de borracha, que pode variar desde *crackermill*, *granulator*, *micromill* e o *cryogenic*, ou seja, pedaços ou partículas finas. Para vias úmidas, o triturado da borracha de pneus velhos é misturado em um terminal conforme o item seis da figura 9, produzindo um ligante estável e relativamente homogêneo, sendo processado em altas temperaturas por agitação com alto cisalhamento ao ligante asfáltico aquecido, que se modifica, sendo renomeado como “asfalto-borracha”. Este processo é mais confiável devido ao seu controle de qualidade.

**Figura 9: Ciclo processamento úmido de pneus inservíveis**



Fonte: Fagundes; Correa, 2020.

O asfalto-borracha pode reutilizar o pneu em sua forma total ou parcialmente para compostagem, fortalecimento de aterros, fabricação de pneus novos e geração de energia para a produção de cimento, cal, papel e celulose. Quanto menor o tamanho das partículas de borracha, mais fácil se torna a sua incorporação a outros materiais (SALOMÃO *et al.* 2019).

A incorporação das amostras de pneus inservíveis triturados, é bastante ampla, sendo possível a associação ao uso dos mais diversos processos, sejam eles pisos industriais, pisos de antivibração com esteiras de borracha, solas de sapato, grama sintética, revestimentos acústicos de estúdios. O acréscimo da borracha de pneus na pavimentação proporciona melhorias para a sociedade e o meio ambiente, além do custo-benefício associado a obra (CARVALHO; ALMEIDA; LIBERA JUNIOR, 2020).

### 2.3.2 Durabilidade do asfalto convencional *VERSUS* durabilidade do Asfalto Borracha

De maneira geral, o pavimento de asfalto convencional possui um desgaste mais rápido do que o asfalto borracha, também apresenta uma baixa qualidade de ligante quando comparados, porém, são compatíveis com as necessidades a que são

aplicadas. Logo, os materiais mais tradicionais ainda são os mais comuns a serem usados (ALMEIDA; GOMES, 2018).

E ao longo do tempo, o intemperismo e a utilização constante do asfalto, provoca um desgaste dos componentes da mistura betuminosa, trazendo a pavimentação habitual incluindo erosão do solo, erros e falhas na construção. A Figura 10 observa os erros e falhas na construção (SIQUEIRA *et al.* 2021).

**Figura 10: Erosão do solo, erros e falhas na pavimentação**



**Fonte:** <https://tribunademinas.com.br>, (2012).

Frente a necessidade de manutenção constante, têm-se percebido, cada vez mais que uma boa forma de manter as vias usáveis é a reciclagem de produtos como pneus, pois além de ser uma matéria prima útil e economicamente viável, carrega outras características relevantes como a impermeabilidade, a durabilidade do asfalto com capacidade de resistir a intempéries, a abrasão depende do tempo de envelhecimento do ligante (oxidação) e a desagregação dos agregados e misturas densas que tendem a envelhecer mais lentamente (ALMEIDA; GOMES, 2018).

Porém, o asfalto borracha possui a capacidade de resistir à esforços que podem causar deformações irreversíveis. A Figura 11 aponta alguns tipos de deformação asfáltica, portanto a mistura do asfalto com a borracha deve apresentar estabilidade compatível com os esforços aos quais serão submetidos, estes definidos em projeto, para que não possam ocorrer trincas e rachaduras no pavimento (FERNANDES *et al.* 2020).

**Figura 11: Deformações irreversíveis no asfalto borracha**



Fonte: Santos *et al*, (2013).

### 2.3.3 Asfalto borracha e suas vantagens e desvantagens

O asfalto borracha, apresenta como vantagem principalmente o aumento da vida útil do pavimento, garantindo uma maior resistência à propagação de trincas; permite a redução da espessura do pavimento e o aumento da flexibilidade; melhor adesividade aos agregados, devido a maior concentração de elastômeros na borracha de pneus; proporciona uma maior aderência pneu-pavimento, reduzindo o ruído provocado pelo tráfego entre 65 e 85%. Ou seja, é melhor que os pavimentos convencionais em meio a todas as intemperes (SILVA; PEREIRA; PINHO, 2021).

Porém traz como desvantagem a alta viscosidade do material, que compromete a viabilidade do trabalho com a mistura asfáltica, é preciso maiores temperaturas de usinagem com relação ao asfalto convencional e um dos principais o asfalto borracha tem um custo mais elevado em comparação ao convencional (ALMEIDA; GOMES, 2018).

O desempenho do asfalto borracha e do asfalto convencional são avaliados por diversos estudos bibliográficos de ensaios laboratoriais, apontando fatos como: adesividade; penetração, ponto de amolecimento e redução da susceptibilidade térmica; viscosidade dentre outros.

### 2.3.4 Asfalto borracha e as limitações econômicas

O asfalto ecológico implica em gastos que tornam sua utilização mais cara. Os aspectos econômicos associados a utilização da produção do asfalto borracha mostram-se uma grande desvantagem quando comparado aos meios tradicionais, quando confrontado ao asfalto convencional sua resistência e durabilidade pode

chegar até 40% a mais, variando de acordo com as condições de cada rodovia, intensidade do tráfego e agentes externos como o clima e temperatura de cada região. O Tabela 1 considera a suas características e faz um comparativo econômico do pavimento convencional do Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ) e o CBUQ de asfalto borracha.

**Tabela 1: Comparativo econômico de execução de CBUQ convencional revestimento CBUQ com asfalto-borracha**

Revestimento em CBUQ convencional		Revestimento em CBUQ com Asfalto-Borracha	
1000m x 7m x 0,07m x 2500 t/m <sup>3</sup> = 1225 toneladas de massa asfáltica de CBUQ normal		1000m x 7m x 0,07m x 2500 t/m <sup>3</sup> = 1225 toneladas de massa asfáltica de CBUQ com Asfalto-Borracha	
CBUQ com CAP 50/70		CBUQ com Asfalto-Borracha	
R\$ 129,82/t		R\$ 155,9/t	

Grandezas	Cálculo	Unidade	Tipo de Asfalto		Diferença	
			CAP 50/70	AMB		
A	Quantidade de massa asfáltica	-	ton	1.125,00	1.125,00	
B	Custo de usinagem	-	R\$/t	129,82	155,90	17%
C	Custo Total	A x B	R\$	146.047,50	175.387,50	17%

**Fonte:** Silva; Silva Júnior, (2019).

Segundo Silva, Silva Junior (2019), observa-se que o custo de execução do asfalto modificado por borracha (AMB), é 17% superior ao convencional com CAP 50/70, mas considerando suas características com o aumento da flexibilidade, a redução da incidência aos intempéries e durabilidade, os custo de reparo e manutenção serão menores em relação ao asfalto convencional.

Por se tratar de uma tecnologia diferente do habitual, contabiliza novos gastos que tornam sua utilização mais cara do que o asfalto convencional. A prática do seu uso objetiva uma redução de custo a longo prazo, pois devido seu empenho as verbas de manutenção da vida útil do asfalto implantado podem se igualar a zero. Ou seja, seu custo compensa claramente pela qualidade de seu desempenho (SILVA; SILVA JÚNIOR, 2019).

### 3 METODOLOGIA

Trata-se de um estudo do tipo qualitativo, de revisão integrativa da literatura. A revisão integrativa possibilita uma síntese do estado do conhecimento sobre o uso de borracha de pneus velhos na pavimentação asfáltica por meio da análise de artigos relevantes que dão suporte para a tomada de decisão e para a melhoria da prática profissional. Para o levantamento dos artigos incluídos neste estudo as bases de dados utilizadas foram: SciELO, ScienceDirect, Google Acadêmico, Scopus e Periódicos CAPES. As palavras-chave utilizadas foram: pavimentação, pneus, asfalto borracha, sustentabilidade, combinadas entre si e aos booleanos traduzidas para o inglês, AND e OR.

Foram incluídos os artigos científicos entre os anos de 2011 a 2021 nos idiomas português e inglês. Já as produções não disponíveis na íntegra gratuitamente e de forma virtual foram excluídas assim como publicações duplicadas, apenas resumo e literatura cinzenta (dissertações, artigos de reflexão).

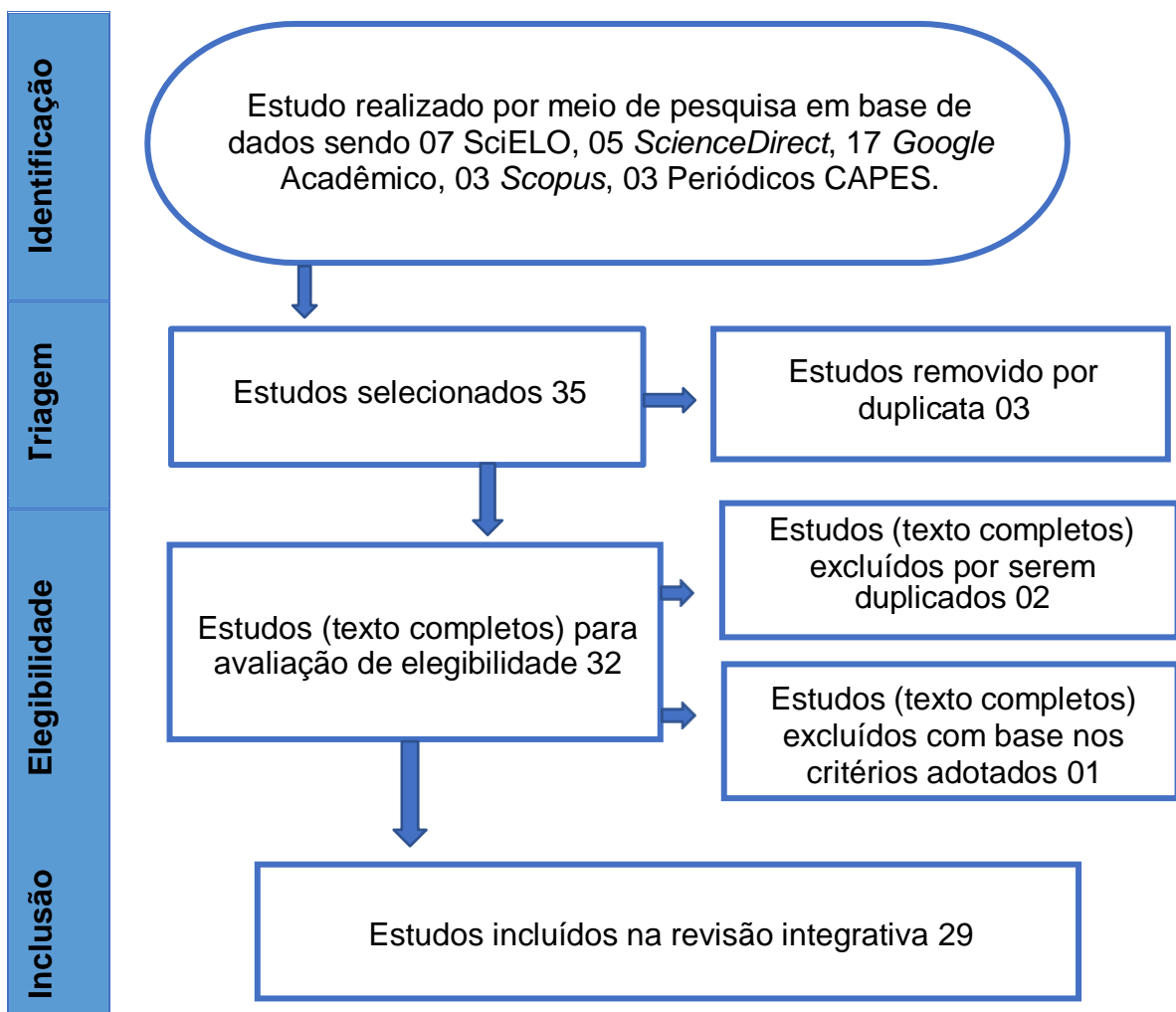
A busca iniciou-se pela base de dados da SciELO, gerando 07 artigos, mas, devido aos critérios de inclusão e exclusão, apenas 04 artigos foram incorporados à revisão. Na base de dados Science Direct foram incorporados 05 artigos. No site de busca Google Acadêmico 17 artigos foram incorporados. Na base de dados Scopus 01 artigo foi incorporado e no portal Periódicos CAPES 02 artigos foram incorporados, os demais artigos gerados não foram incorporados respeitando os critérios de exclusão. No fluxograma da seleção e incorporação dos artigos nas bases de dados e resumo das fases de análise que compõe a localização dos artigos associados.

A análise das informações foram realizadas por meio de leitura exploratória e analítica do material encontrado. Esta seleção se baseia nos títulos da abordagem dos artigos científicos e qual sua ideia principal, foram excluídos os títulos repetidos e artigos que não eram relacionados ao tema. Logo depois, seguiu-se a leitura dos resumos dos trabalhos encontrados. Os artigos científicos que possuíam temas centrais relacionados ao objetivo deste estudo foram selecionados para leitura aprofundada.

Após essa etapa, foram extraídos dos artigos a ideia central e então procedeu-se uma discussão entre eles. Foi identificado um pico de publicações no

ano de 2021, assim como nos anos anteriores o tema central focava em sustentabilidade econômica e a comparação da durabilidade do asfalto associado a borracha de pneus inservíveis com os demais asfaltos convencionais. Assim, após a leitura dos estudos selecionados foi possível identificar três categorias temáticas principais: 1) Os aspectos ambientais; 2) Resultados econômicos; 3) A percepção e o comportamento de durabilidade que o tema associa aos pavimentos.

**Figura 12:** Fluxograma: Seleção e incorporação dos artigos nas bases de dados.



**Fonte:** Elaborado pelo autor, 2022.

Para resultar à análise temática foi organizado e estruturado o conteúdo dos dados seguindo as fases sequenciais: identificação; triagem; elegibilidade e inclusão do material e tratamento dos resultados.



## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Dos 29 estudos selecionados para compor este estudo, 06 foram eleitos como resultados, (Quadro 3), pois, tratam o conteúdo temático de forma mais atual e se encaixaram nos critérios de inclusão e exclusão.

**Quadro 3** – Organização dos artigos pesquisados, ordenados por ano de publicação.

<b>Título/autor(es)/ano</b>	<b>Objetivos</b>	<b>Metodologia</b>	<b>Principais achados</b>
Viabilidade do asfalto borracha na pavimentação urbana: estudo de caso no residencial jardim do cerrado III, Goiânia, Goiás (MENDES. 2019)	Apresentar as melhorias alcançadas com o uso do asfalto modificado por borracha, realizar uma análise comparativa de custos entre asfalto convencional, apresentando as vantagens, desvantagens e viabilidade econômico-financeira na cidade de Goiânia.	Pesquisa de campo de cunho exploratório quantitativo	Os resultados obtidos demonstram que apesar do custo inicial do AMB ser maior que o asfalto convencional, possui uma viabilidade econômica financeira mais atrativa a longo prazo, pelo seu baixo custo de manutenção.
Uso da borracha de pneus inservíveis como adição no asfalto para manutenção de estradas (NOGUEIRA <i>et al.</i> 2020)	Caracterizar o comportamento estrutural e mecânico das misturas asfálticas empregadas na manutenção das vias pavimentadas com a incorporação de borracha reciclada de pneus usados.	Pesquisa de campo de cunho exploratório quantitativo	Observou - se que com a quantidade de borracha na mistura asfáltica, implica diretamente na resistência à aplicação de cargas, diminuindo a sua viscosidade, reduzindo sua estabilidade.
Vantagens ambientais e econômicas no uso de borracha em asfalto (PEREIRA <i>et al.</i> 2021)	Abordar a utilização da borracha de pneus para a pavimentação asfáltica, demonstrando sua contextualidade histórica e os avanços tecnológicos deste reuso em nosso país.	Levantamento bibliográfico de caráter descritivo e exploratório	Os resultados demonstram que a utilização da adição de borracha de pneus em ligantes asfálticos aplicados em obras de pavimentação no Brasil se mostra como uma técnica promissora para aumentar a durabilidade das estradas e ruas.

Avaliação de alternativas para descarte e reuso de pneus: incorporação na massa asfáltica para produção de asfalto borracha (VUCOVIC, 2021)	Avaliar as alternativas de reciclagem de pneus e apresentar o impacto ambiental decorrente do descarte de pneus inservíveis.	Levantamento bibliográfico de caráter descritivo e exploratório	Assim, foram levantadas informações a respeito do efeito da borracha moída de pneu sobre misturas asfálticas convencionais e sobre suas propriedades, de forma a comprovar que o uso de pneus inservíveis na mistura é benéfico tanto para o asfalto como para o meio ambiente
Utilização de asfalto-borracha na restauração da pavimentação da rodovia RJ-122 (SIQUEIRA <i>et al</i> , 2021)	Identificar as vantagens e desafios para a ampliação na utilização de pneus inservíveis; estudar as características do projeto de revitalização do pavimento da rodovia estadual RJ-122 que empregou uma técnica promissora na manipulação da matéria-prima.	Qualitativa, que se caracteriza como uma análise bibliográfica	Este trabalho se refere, a aplicação do asfalto ecológico em rodovias brasileiras, demonstrando justificativas técnicas, que melhoram as propriedades e consequente aumento da vida útil dos pavimentos, além do aspecto ambiental.
Estudo do comportamento de misturas asfálticas modificadas com adição de borracha moída de pneus (ROCHA; PACHECO, 2021)	Avaliar o desempenho mecânico e volumétrico de uma mistura asfáltica densa com diferentes teores de borracha moída pneumática em substituição parcial do agregado miúdo.	Análise comparativa se dará através de ensaios feitos em laboratório	O uso da borracha de pneus na pavimentação asfáltica contribui para minimizar os problemas de destinação final de pneus inservíveis e, ao mesmo tempo, melhora a deformação permanente e a flexibilidade a baixas temperaturas.

---

**Fonte:** Elaborado pelo autor, 2022.

Uma primeira síntese dos resultados surge a partir da comparação entre os tópicos emergentes de descarte e a necessidade de reutilização dos resíduos de pneus, autores como Rocha e Pacheco, (2021); Siqueira *et al* (2021), entram em concordância quando apontam que o uso de pneus velhos na pavimentação é uma simplificação do problema ambiental e o problema de durabilidade viária. Cada um dos estudos incorporados aponta como principais tópicos: I) os impasses ambientais de descarte; II) a necessidade de uma metodologia de adoção da ACV; III) a popularização do aproveitamento do material comum, igual a borracha.

Segundo os autores Vucovic, (2021); Pereira *et al*, (2021) e Nogueira *et al*, (2020), além das informações ambientais existentes sobre fluxos da reciclagem de

borracha de pneus, buscam demonstrar como a borracha representa uma alternativa para construção de vias e rodovias mais resistentes, diminuindo ocorrências prematuras e excessiva das deformações permanentes nos pavimentos asfálticos, que tem sido motivo de grande preocupação entre técnicos e pesquisadores brasileiros da área de pavimentação, assim como a reutilização de um material com o viés ecológico e econômico.

É comum em todos os trabalhos agregados a este estudo que as misturas asfálticas com a borracha apresentam uma qualidade única de ligante e propriedades superiores as tradicionais. Ao longo dos anos inúmeras pesquisas foram desenvolvidas com intuito de aprimorar as técnicas de composição do asfalto o que vêm impulsionando a sustentabilidade de forma significativa nas construções civis. Após o entendimento de que os pneus no pós-consumo ainda possuem serventia, seja por meio de recauchutagem ou pela reciclagem, dependendo do estado de conservação e da estrutura interna do mesmo.

Os autores Rocha e Pacheco, (2021), realizaram uma análise comparativa de revestimento de asfalto associado com borracha e o material betuminoso tradicional, e através desse ensaio observou que o asfalto modificado com borracha contribui para minimizar os problemas de destinação final de pneus inservíveis e ao mesmo tempo apresenta uma maior viscosidade para o pavimento, permitindo uma maior vida útil da pavimentação, entretanto, seu processo de preparo solicita temperaturas maiores que os ligantes comuns, bem como um investimento de materiais maior.

O maior volume de custo para o processo de preparo do asfalto borracha é pautado como uma das suas principais desvantagens, por todos os estudos que se associam a temática. Conforme Pereira *et al.* (2021), o pneu é um produto de extrema importância para a sociedade, e junto com sua contextualização histórica existe o problema ambiental. O procedimento de reutilização da borracha dos pneus velhos traz vantagens ecológicas, ambientais e sociais ao proporcionar uma destinação adequada aos pneus inservíveis.

Para Siqueira *et al.*, (2021), toda e qualquer desvantagem associado ao custo de produção do asfalto borracha é superado com sua utilização a longo prazo. O material se paga pelo fato de não possuir a necessidade de manutenção constante,

devido as propriedades dadas a borracha agregada. Nessa perspectiva, Nogueira *et al*, (2020), realizaram um estudo sobre os comportamentos estruturais e mecânicos das vias pavimentadas com a incorporação da borracha e o tempo médio da necessidade de manutenção empregadas.

A resistência entre o asfalto convencional e o asfalto incorporado com a borracha triturada é gritante, já que em todos os estudos apontam como resultados o asfalto modificado por borracha apresenta uma resistência superior a do asfalto convencional ou maior do que qualquer outro asfalto associado a qualquer tipo de polímero, porque, segundo os autores, a borracha possui propriedades únicas em sua composição que aumentam a flexibilidade, tornando a mistura mais resistente ao envelhecimento e ao aparecimento de deformações e trincas. É visível que o uso da borracha reciclada de pneus inutilizáveis é um viés viável em amplo aspecto ambiental, econômico e técnico.

Para fins de apuração, Mendes (2019) demonstra os resultados obtidos através dos estudos realizados em vias brasileiras, comparando os custos de execução e manutenção do asfalto modificado com borracha *versus* asfalto convencional. A Tabela 2, confronta os custos de usinagem e aplicação dos revestimento e na Tabela 3 avalia o custo de manutenção e execução durante 7 anos.

**Tabela 2: Custo de usinagem e aplicação**

GRANDEZAS		CÁLCULO	UNIDADE	TIPO DE ASFALTO	
				CAP 50/70	ASFALTO BORRACHA (AB22)
A	Quantidade de massa asfáltica CBUQ		ton	5.013,26	5.013,26
B	Custo de Usinagem 20% do CAP		R\$ / ton	371,50	420,04
C	Quantidade de massa x Custo de Usinagem	A x B	R\$	1.862.426,09	2.105.769,73
D	Custo do CAP		R\$ / ton	1.857,50	2.100,2
E	Custo de asfalto no CBUQ	A x D	R\$	9.312.130,45	10.528.848,65
F	Custo total de obra	C x D	R\$	11.174.556,54	12.634.618,38

**Fonte:** Mendes, (2019).

**Tabela 3: Custo de execução e manutenção durante 7 anos.**

Tipo de Asfalto	Custo de Execução (R\$)	Manutenção em %	Custo de Manutenção (R\$)	Custo de Execução e Manutenção (R\$)
Asfalto Convencional	11.174.556,54	70	7.882.189,59	19.056.746,15
Asfalto Borracha	12.634.618,38	10	1.263.461,84	13.898.080,22

Fonte: Mendes, (2019).

Deste modo, Mendes (2019), apresenta que o asfalto borracha corresponde a um custo inicial 13,06% superior ao convencional, e após sete anos de utilização da via, aponta 60% a menos de custo de manutenção. Assim o asfalto ecológico passa a ser economicamente mais viável a longo prazo, totalizando um custo final de 37,12% menor equiparado ao asfalto convencional.

Ainda com base nos resultados obtidos, a viabilidade da pavimentação com asfalto ecológico é tecnicamente positiva, sustentável e economicamente viável, considerando a relação custo-benefício a longo prazo e sua maior resistência em relação a outros pavimentos. A qualidade e o desempenho justificam claramente o custo inicial relativamente alto e pelo fato de utilizar materiais de uso único, como pneus, não podendo deixar de referenciar seu envolvimento ecológico, pois é importante retirar esses objetos do meio ambiente e reutilizá-los. Várias patologias podem ser evitadas com a aplicação deste pavimento, mas o custo mais elevado faz com que a maioria dos pavimentos sejam executados com o de menor valor.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o estudo realizado observamos que a quantidade de informação sobre o tema é cada vez mais frequente, assegurado pela parte econômica e ambiental. Este estudo buscou conceituar e expor benefícios e limitações econômicas impostas pelas características da ligação da borracha ao pavimento.

O asfalto ecológico deve ser considerado mais vezes, em projetos de novos pavimentos, pois dele obtêm-se estradas com melhor desempenho, durabilidade e resistência ao tráfego e às condições climáticas por mais tempo, resultando em menos intervenções de manutenção e maior conforto, segurança e economia para os usuários. Outro aspecto importante a esclarecer é o custo dessa tecnologia, é verdade que os custos iniciais continuam sendo um problema, mas o seu ciclo de vida comparados aos demais tipos de pavimento, nos leva a opção mais econômica a longo prazo, possuindo maior tendência com o passar dos anos, embora, seu alto custo de produção.

Fica evidente a necessidade de incentivos público e privado, para que a ideologia da reutilização de pneus velhos na pavimentação seja disseminada para além dos movimentos periódicos de pesquisas. Deste modo, com a análise dos dados desse trabalho é possível observar que o viés da sustentabilidade está em comum acordo com a medida em que o asfalto é utilizado, não precisando necessariamente ser uma fonte inservível em curto período e prejudicial à natureza.

## REFERÊNCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Gestão ambiental: avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura. Rio de Janeiro: ABNT, nov. 2001. (NBR ISO 14040).

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS. Projeto de Lei N° 12.305, de 02 de agosto de 2010. Brasília: Congresso Nacional. 2010.

BLOG ACHEI PNEUS. Você conhece as partes do pneu do seu carro? Aprenda agora mesmo. 25 de out. de 2021.

CARVALHO K.C.R; ALMEIDA R.F.P; LIBERA JUNIOR V.D. 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](https://portaldeperiodicos.animaeducacao.com.br/index.php/gestao_ambiental/article/view/8536/5410). Acesso em: 20/03/2022

CHRISTÓFANI MPH, *et al.* Aspectos ambientais sobre pneus inservíveis. Iniciação - Revista de Iniciação Científica, Tecnológica e Artística. Novembro: 7(1). 2017.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. RESOLUÇÃO CONAMAnº 416, de 30 de setembro de 2009. Publicada no DOU N° 188, de 01/10/2009, págs. 64-65. Altera a Resolução no 258/99.

DE PAULA & PANASOLO. A relevância da logística reversa na atividade empresarial. 2020

FAGUNDES FD; CORREA W. Uso da borracha de pneus na pavimentação como alternativa ecologicamente viável no estado de Minas Gerais. Anais do 3º Simpósio de TCC, das faculdades FINOM e Tecsoma, 2019; 745-768.

FERNANDES LSS, *et al.* O uso da borracha de pneu na produção de asfalto borracha: uma solução ambiental. ri.ucsal.br, 2020.

FLORIANI, MA; FURLANETTO, V; SEHNEM, S. Descarte sustentável de pneus inservíveis NAVUS - Revista de Gestão e Tecnologia.6(2):37-51. 2016.

GONÇALVES, PVS *et al.* Logística reversa de pneus inservíveis: diagnóstico situacional com aplicação de matriz de indicadores de sustentabilidade nos municípios de Belém e Ananindeua, Pará. Rev. Gestão e Tecnologia. 9(1): 165-181. 2019.

\_\_\_\_\_. ISO 14044:20: environmental management – Life cycle assessment – Requirements and guidelines, 2010.

LEITE, P. R, *et al.* Logística reversa: Sustentabilidade e Competitividade. São Paulo: Saraiva, 2017.

LIMA, E. Embrapa oferece treinamento em avaliação de ciclo de vida. Informativo Embrapa Meio Ambiente, 24 out. 2013.

LO PRESTI, D. (2013). Recycled Tire Rubber Modified Bitumens for road asphalt mixtures: A literature review. *Construction and Building Materials Journal*. Volume 49, Pp. 863-881. <doi:10.1016/j.conbuildmat.2013.09.007>

MEDEIROS, UA. Viabilidade do uso de resíduos de borracha na pavimentação asfáltica. Monografia (Graduação em Ciências Militares) — Academia Militar Das Agulhas Negras Academia Real Militar.2019; 31.

MENDES, G. C. R. Viabilidade Do Asfalto Borracha Na Pavimentação Urbana: Estudo De Caso No Residencial Jardim Do Cerrado III, Goiânia, Goiás. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Planejamento Territorial - MDPT) 2019. – Pontifícia Universidade Católica de Goiás – PUC-GO.

\_\_\_\_\_. Ministério do Meio Ambiente. Sobre a prevenção à degradação ambiental causada por pneus inservíveis e sua destinação ambientalmente adequada, e dá outras providências. Publicação DOU Nº 188, de 01/10/2009, p. 64-65. 2016.

NAKAMURA, J. (2011). Pavimentação asfáltica: Os tipos de revestimento, o maquinário necessário e os cuidados na contratação, projeto e execução. *Infraestrutura urbana: projetos, custos e construção*, São Paulo, ano,2021.

NOGUEIRA G, et al. Uso da borracha de pneus inservíveis como adição no asfalto para manutenção de estradas. *Revista Uniaraguaia (Online)*.2020; 15(1): 80.

PEREIRA MBL et al. Vantagens ambientais e econômicas no uso de borracha em asfalto. *Brazilian Journal of Development*, 2021;7(12): 115055 -115069

ROCHA BO; PACHECO RFR. Estudo do comportamento de misturas asfálticas modificadas com adição de borracha moída de pneus. *Revista Ifes Ciência*, 2021; 7(1): 01-17

SALOMÃO A, et al. A importância dos serviços de conservação em rodovias pavimentadas *Research, Society and Development*, 8(8). 2019.

SANTOS, M.S.F., LIMA, B.B.C. Cadeia logística reversa de pneus automotivos pós-consumo em Teresina-PI. *Revista S&G*.16(1):44-56. 2021.

SEST SENAT. Serviço Nacional de Aprendizagem do Transporte. Cerca de 450 mil toneladas de pneus são descartadas por ano no Brasil. Brasília: SEST SENAT, 2017.

SILVA G, COÊLHO, MFO. Uso do asfalto borracha na pavimentação de rodovias.



Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. 11(01): 96-117. 2018.

SILVA H et al. Pneus inservíveis: uma alternativa sustentável de reaproveitamento. Sistema Integrado de Publicações Eletrônicas da Faculdade Araguaia – SIPE, 2015; 4: 142-149.

SILVA LS et al. Utilização de resíduos de borracha de recauchutagem de pneus na composição de asfalto. RCT. – Revista de Ciência e Tecnologia, 2018; 4(7)

SILVA J.S; PIMENTEL M.G. R. F. Uso de resíduos na pavimentação rodoviária. Research, Society and Development, v. 10, n.14. 2021. Disponível em:< <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/22179/19988>>. Acesso em: 25/03/2022

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: <http://doi.org/10.6008/CBPC2318-3055.2019.002.0008>. Acesso em 22/03/2022

SIQUEIRA, C.T et al. Utilização de asfalto-borracha na restauração da pavimentação da rodovia RJ-122. Revista Teccen. 2021; 14 (1): 28-32.

SOARES APF, et al. Incorporação da borracha para pavimentação asfáltica. Ciências exatas e tecnológicas, 2016; 3(3): 133-146.

SPADOTTO A, *et al.* Impactos ambientais causados pela construção civil. Unoesc & Ciência – ACSA, Joaçaba, 2(2): 173-180. 2011.

SKRECICLAGEM. Granulado de borracha. 2020.

TRIBUNAS DE MINAS. Chuva provoca erosão em asfalto, e MG-353 fica em meia pista. 2012.

VUCOVIC FN. Avaliação de alternativas para descarte e reuso de pneus: incorporação na massa asfáltica para produção de asfalto borracha. SP. Monografia (Graduação em Engenharia de Materiais). Universidade Federal de São Paulo Instituto de Ciência e Tecnologia – USP, 2021; 35p.

ZATARIN APM, *et al.* Viabilidade da pavimentação com asfalto-borracha. R. gest. sust. ambient., 2017; 5(2): 649-674.