



FACULDADE FASIPE DE CUIABÁ  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

**JENIFFER FIGUEROA DE OLIVEIRA**

**SUSTENTABILIDADE APLICADA À CONSTRUÇÃO  
RODOVIÁRIA: REAPROVEITAMENTO DE PNEUS**

CUIABÁ-MT  
2022

**JENIFFER FIGUEROA DE OLIVEIRA**

**SUSTENTABILIDADE APLICADA À CONSTRUÇÃO  
RODOVIÁRIA: REAPROVEITAMENTO DE PNEUS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
Faculdade FASIPE Cuiabá, como requisito  
parcial para a obtenção do título de bacharel em  
Engenharia Civil

Orientadora: Profª Stela Amanda S. Azevedo.

CUIABÁ-MT  
2022

# **SUSTENTABILIDADE APLICADA À CONSTRUÇÃO RODOVIÁRIA: REAPROVEITAMENTO DE PNEUS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade FASIPE Cuiabá, como requisito parcial para a obtenção do título de bacharela em Engenharia Civil

Orientadora: Prof<sup>a</sup> Stela Amanda S. Azevedo.

## **BANCA EXAMINADORA**

---

Prof(a). Stela Amanda Santos de Azevedo

---

Prof. Esp. André Luis Moreira

---

Prof. Esp. Cristiano Zandoná dos Santos

Cuiabá \_\_\_\_/\_\_\_\_ de 2022

## **AGRADECIMENTOS**

Quero agradecer à Ângela Maris por sempre acreditar em mim mais do que eu.

Expresso meus agradecimentos ao Daniel Gomes por me dar apoio incondicional sempre.

Giovanna Figuerôa por me ajudar a dar os primeiros passos para atingir essa conquista tão gigante em minha vida

Leticia Baie por fazer os dias da faculdade mais alegres, por dividir tudo comigo e principalmente os lanches e ser essa amiga tão parceira.

Aos professores da faculdade de Engenharia Civil que me forneceram todas as bases necessárias para a realização deste curso, agradeço com profunda admiração pelo vosso profissionalismo e dedicação.

Por último, não menos importante à minha Prof<sup>a</sup> orientadora, Stela Amanda, por me proporcionar o suporte necessário em cada dificuldade e fazer em sonho real.

E o que dizer a você, Mateus? Obrigada pela paciência, pelo incentivo, pela força e principalmente pelo companheirismo de sempre. Valeu a pena todo seu empenho e incentivo. Agora fazemos parte da elite do conhecimento e você humildemente segurou minha mão, não deixando que o desânimo superasse a esperança. Dentre as coisas importantes que consegui ao longo dessa jornada posso assegurar duas em especial - o conhecimento e sua amizade que certamente levarei para a vida.

*O conforto de estar em um lugar de segurança vem da  
habilidade única do engenheiro civil.*

*Beatriz Mello*

OLIVEIRA, de Figueroa Jeniffer. **Sustentabilidade Aplicada à Construção Rodoviária: Reaproveitamento de Pneus**. 2022.50p. Trabalho de Conclusão. Bacharela em Engenharia Civil – Faculdade FASIPE, Cuiabá, 2022.

## RESUMO

As práticas sustentáveis têm feito parte dos debates e preocupações da sociedade contemporânea. Na indústria da construção civil não é diferente. A grande quantidade de resíduos e entulhos derivados das reformas e ou construções de edificações tem acarretado diversos problemas ambientais. Movidos por essas preocupações, além da insuficiência dos recursos naturais para atender à tamanha demanda da humanidade, assuntos com pautas sustentáveis passaram a ser discutidos com mais ênfase a partir dos anos 80 do século passado. A justificativa para a presente pesquisa bibliográfica se dá pelo uso de resíduos na pavimentação de rodovias com base nas necessidades crescentes de utilização de forma mais racional dos recursos disponíveis na natureza. Na construção civil contemporânea, uma das principais preocupações da engenharia deve ser a garantia de uma boa edificação. Dessa forma, é possível apresentar uma obra de pavimentação segura a partir de utilização de resíduos sólidos? No objetivo geral, se buscou: compreender com fundamentos em uma revisão literária o uso de resíduos sólidos em pavimentações asfálticas, enfocando nas metodologias utilizadas para cada espécie de resíduos, desempenhos e suas principais propriedades. Esse trabalho é resultado de uma revisão bibliográfica. Descreveu-se nas seções de revisão bibliográfica desse trabalho a relevância do mesmo, mas também mostrou os impactos que esse setor provoca no meio ambiente, não apenas uma edificação em sim, mas todo o processo da cadeia produtiva, das indústrias correlatas da construção civil, sem esquecer de apresentar as sugestões para a redução desses impactos ambientais provocados pela implementação desses empreendimentos. Considera-se ainda que sua utilização na construção asfáltica gera economia por se tratar de um produto de reaproveitamento e por sua capacidade de resistência à ação do tempo.

**Palavras-chave:** Sustentabilidade. Reuso de Pneus. Pavimentação. Rodovias

OLIVEIRA, de Figueroa Jeniffer. **Sustainability Applied to Road Construction: Tire Reuse**. 2022.50p. Final Paper. Bachelor's Degree in Civil Engineering – Faculty FASIPE, Cuiabá, 2022.

## **ABSTRACT**

Sustainable practices have been part of the debates and concerns of contemporary society. In the construction industry it is no different. The large amount of waste and debris resulting from the renovation and/or construction of buildings has caused several environmental problems. Driven by these concerns, in addition to the insufficiency of natural resources to meet the huge demand of humanity, issues with sustainable agendas started to be discussed with more emphasis from the 1980s onwards. The justification for the present bibliographical research is given by the use of residues in the paving of highways, based on the growing needs for a more rational use of the resources available in nature. In contemporary civil construction, one of the main concerns of engineering must be the guarantee of a good building. In this way, is it possible to present a paving work that is safe from the use of solid waste? The general objective sought to: understand, based on a literary review, the use of solid waste in asphalt paving, focusing on the methodologies used for each species of waste, performance and its main properties. This work is the result of a literature review. The relevance of this work was described in the bibliographic review sections of this work, but it also showed the impacts that this sector causes on the environment, not just a building itself, but the entire process of the production chain, of related industries in civil construction, without forgetting to present suggestions for the reduction of these environmental impacts caused by the implementation of these projects. It is also considered that its use in asphalt construction generates savings because it is a reusable product and because of its capacity to resist the action of time.

**Keywords:** Sustainability. Tire reuse. Paving. highways

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 1</b> - Aplicação do asfalto borracha em Confins – MG. ....	18
<b>Figura 2</b> - Pneus vendidos no período acima citado.....	26
<b>Figura 3</b> - área de descarte de pneus inservíveis em Fortaleza-CE .....	31
<b>Figura 4</b> – Fases de transformação do pneu em matéria prima de asfalto .....	32
<b>Figura 5</b> - Borracha derivada do pneu pronta para receber o ligante asfáltico .....	33

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 .....	00
----------------	----

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

<b>ABNT</b>	Associação Brasileira de Normas Técnicas
<b>IBGE</b>	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
<b>CAP</b>	Cimento Asfáltico de Petróleo
<b>CONAMA</b>	Conselho Nacional do Meio Ambiente
<b>DNIT</b>	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
<b>NBR</b>	Norma Brasileira
<b>ONU</b>	Organização das Nações Unidas
<b>RCC</b>	Resíduos da Construção Civil
<b>KM</b>	Quilômetro

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>13</b>
1.2 JUSTIFICATIVA .....	14
1.2 PROBLEMÁTICA .....	14
1.3 OBJETIVO GERAL .....	14
OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	15
<b>2. VIABILIDADE DA UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS NA CONSTRUÇÃO DE RODOVIAS</b> .....	<b>16</b>
2.1 BREVE HISTÓRICO DA PAVIMENTAÇÃO.....	15
2.2 COMPONENTES DE PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA.....	16
2.3 LIGANTE ASFÁLTICO.....	17
2.4 AGREGADOS .....	18
2.5 REGULAMENTAÇÃO DO USO DE RESÍDUOS SÓLIDOS.....	18
<b>3. CARACTERÍSTICA DOS MATERIAIS EMPREGUES NA CONSTRUÇÃO ASFÁLTICA</b> .....	<b>25</b>
3.1 PAVIMENTO RODOVIÁRIO .....	25
3.2 DELIMITAÇÃO DO MATERIAL AGREGADO .....	27
3.3 RESÍDUOS DE PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA.....	29
<b>4. A SUSTENTABILIDADE PRESENTE NO REVESTIMENTO ASFÁLTICO DERIVADO DA BORRACHA</b> .....	<b>31</b>
4.1 ASFALTO BORRACHA.....	32
4.2 MATÉRIA PRIMA .....	35
4.3 PREPARAÇÃO .....	36
4.4 PARÂMETROS DE DESEMPENHOS.....	37
4.5 COMPARATIVO TÉCNICO.....	38
<b>5. METODOLOGIA</b> .....	<b>39</b>
<b>6. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>41</b>
<b>7. CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>43</b>
<b>8. REFERÊNCIAS</b> .....	<b>45</b>

## 1. INTRODUÇÃO

As práticas sustentáveis têm feito parte dos debates e preocupações da sociedade contemporânea. Na indústria da construção civil não é diferente. A grande quantidade de resíduos e entulhos derivados das reformas e ou construções de edificações tem acarretado diversos problemas ambientais. Movidos por essas preocupações, além da insuficiência dos recursos naturais para atender à tamanha demanda da humanidade, assuntos com pautas sustentáveis passaram a ser discutidos com mais ênfase a partir dos anos 80 do século passado. Abordado em quase todos os setores de atuação profissional da sociedade contemporânea uma obra sustentável sempre estará na pauta de preocupações para se construir um empreendimento economicamente viável. Um setor de destaque no crescimento de uma economia é a construção civil que, como se sabe, invariavelmente é uma grande geradora resíduos (DI GIULIO, 2007).

Na construção de rodovias existe uma grande demanda por utilização de recursos naturais, tornam-se cada vez mais imprescindíveis novos estudos sobre a viabilidade sobre a emprego de resíduo gerado e, desta forma, uma razoável otimização desses materiais, proporcionando uma forma sustentável no campo da construção civil. Em suma, recuperar resíduo pelo setor de construção tem se tornado práticas de grande relevância, pois, ao mesmo tempo em que gera progresso, contribui-se para um empreendimento sustentável, seja diminuindo os impactos ambientais provocados para a possibilidade de construir rodovias e ou rodovias com expressiva resistência, por este setor ou diminuindo as despesas (FIKSEL, *et al.* 2011).

Nesse sentido, a relevância que se confere à utilização desses materiais em pavimento rodoviário não é diferente. Várias pesquisas sobre a emprego de resíduo para pavimentações asfálticas apontam oferecendo ao mesmo tempo economia, conforto e segurança, artigos de primeira necessidade numa boa pavimentação. Este ensaio monográfico abordou nas sessões que se seguem diversas espécies de resíduos empregues em pavimento rodoviário, bem como suas qualidades, performances mecânicas de durabilidade.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

A justificativa para a presente pesquisa bibliográfica se dá pelo uso de resíduos na pavimentação de rodovias com base nas necessidades crescentes de utilização de forma mais racional dos recursos disponíveis na natureza. Sabe-se que as empresas de construção civil utilizam muitas matérias prima, e por fazer a reutilização dos rejeitos desse setor da economia coloca-se em evidência a racionalidade bem como os apelos de uma sociedade que tem consciência de sua obrigação com relação à preservação ambiental. Assim sendo, ao se examinar essa temática, avança-se no fator ambientalmente correto, sem prejuízo a questão econômica, que é a mola propulsora de qualquer ramo de atuação comercial.

## 1.2 PROBLEMÁTICA

Na construção civil contemporânea, uma das principais preocupações da engenharia deve ser a garantia de uma boa edificação, independentemente do tipo de construção, pois esse tem se consolidado como um ingrediente importante para assegurar tranquilidade e segurança. Dessa forma, é possível apresentar uma obra de pavimentação segura a partir de utilização de resíduos sólidos?

## 1.3 OBJETIVOS – GERAL

No objetivo geral, se buscou: compreender com fundamentos em uma revisão literária o uso de resíduos sólidos em pavimentações asfálticas, enfocando nas metodologias utilizadas para cada espécie de resíduos, desempenhos e suas principais propriedades.

## 1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Em relação aos objetivos específicos como colunas de sustentação do objetivo geral, se procurou: descrever a viabilidade da utilização dos resíduos sólidos na pavimentação de rodovias e os métodos utilizados; fazer um estudo teórico sobre as

propriedades dos materiais; comparar a viabilidade econômica entre o asfalto-borracha e o modelo tradicional.

Desta forma, este trabalho teve como objetivo apresentar estudo teórico sobre a utilização dos resíduos sólidos, com um recorte ou destaque para avaliação e incorporação de borracha de pneus em ligantes asfálticos utilizados em obras de pavimentação dentro da engenharia civil, buscando a compreensão da reutilização e reciclagem da borracha de pneus inservíveis como insumo de pavimentação, além de avaliar as vantagens de sua utilização e desempenho dessa pavimentação asfáltica.

## **2. VIABILIDADE DA UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS NA CONSTRUÇÃO DE RODOVIAS**

O constante aumento das demandas por recursos naturais influenciam acentuadamente o progresso. A probabilidade de insuficiência de determinados recursos pode alterar as ofertas de diversos bens e por conseguinte os valores desses produtos e paralelo a isso aparecem diferenças sociais, já que apenas as pessoas de maior poder financeiro poderão adquirir tais produtos. A preocupação da sociedade moderna relacionada ao fator ambiental passa a considerar que o uso positivo e coerente do solo pode influenciar positivamente para as pessoas nas questões econômicas e sua relação com o meio ambiente, se existir maiores preocupações com a diminuição dos desperdícios de materiais e energia nos métodos de produção, bem como na forma de reaproveitar determinadas sobras, possibilitando assim, seu reuso. É que se pode chamar de práticas sustentáveis (NUNES, 2015).

A pavimentação rodoviária é uma estrutura desenvolvida por diversas camadas que suportam a rotina aplicada pelo tráfego e mudanças de clima, assegurando aos usuários, ao mesmo tempo, segurança e comodidade. Desta forma, a engenharia contemporânea permite a construção de rodovias com o aproveitamento de resíduos, podendo estes ser aproveitados nas divisões que a compõem a pavimentação, sem afetar a característica planejada da pavimentação e em muitas ocasiões até adicionando qualidades relevantes ao projeto (MOREIRA; CUNHA., 2008).

Na seção a seguir, apresentar-se-á uma breve explicação sobre os materiais que constituem o pavimento. Simultaneamente, fez-se a revisão da literatura sobre o método de aproveitamento de resíduos em pavimentação asfáltica, podendo mencionar: borrachas, cinzas volantes, resíduos da fundição, cinzas de casca de arroz, restos de asfalto reciclado, dentre outros, lembrando que o foco desse estudo foi a utilização de pneus na construção asfáltica.

### **2.1 BREVE HISTÓRICO DA PAVIMENTAÇÃO**

O desenvolvimento dos centros urbanos e o fluxo da grande quantidade de pessoas nas cidades geradoras de empregos e rendas passaram a desencadear desafios endereçados aos administradores públicos: a complexa tarefa de recolher e dar destino aos resíduos provenientes da construção civil. São montanhas diárias de

rejeitos constituídos por concreto, pedras, materiais cerâmicos, madeiras, ferro, alvenarias, tinta, dentre outros – tornando-se um dos mais sérios entraves para cumprir a Resolução 307/2002 do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA.

Discorrer sobre pavimentações remete a sociedade humana à própria história, passando pela povoação de cada continente, conquista territorial, intercâmbios comerciais, culturais e religiosos, desenvolvimento e urbanização. Como a história do homem, a igualmente é edificada em divisões e, frequentemente, as rodovias formam passagens para que se possa percorrer;

A estrada pavimentada implantada mais antiga que se tem registro não se dedicou a carros, mas a trenós para transportes de carga. Para construir as pirâmides no antigo Egito entre os anos de 2600-2400 a.C., construíram-se entradas com lajões sobrepostos em alicerce com excelente capacidade para suportar o peso das pedras à época. Os atritos eram amenizados com umedecimentos permanente através de musgo molhado, azeite ou água (MARTINS, 2004).

Em seus escritos Bittencourt (1958) escreve diferentes citações históricas de rodovias construídas na antiguidade e que eram pontos de acesso à Assíria, antigo reino igualmente na Mesopotâmia, região do Irã e Iraque, ainda à Babilônia, bem como velhas estradas da Índia e da China, mesmo aquelas consideradas apenas roteiros, e identificados a partir de pesquisas arqueológica. Entre essas estradas, fazer jus a ênfase a chamada Estrada da Seda, uma da rota de negócio mais antiga e historicamente importante em razão da sua grande influência nas culturas do Ocidente, Ásia, China e Índia (MEHTA; MONTEIRO, 1994).

## 2.2 COMPONENTES DE PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA

De acordo com a tradição, se dividem os materiais componentes de pavimentações rodoviárias em flexíveis e rígidos; as pavimentações rígidas são aquelas onde os revestimentos são compostos por placas de concretos de cimento Portland, por sua vez, os flexíveis apresentam revestimentos formados por misturas de agregados com ligantes asfálticos (MOREIRA; CUNHA., 2008).

Uma pavimentação asfáltica completa é formada necessariamente por quatro divisões ou camadas, a primeira composta por revestimento asfáltico, acompanhada

por uma de alicerce, a terceira camada de sub-base e finalmente uma camada de solo (HELENE; ANDRADE, 2007).

Segundo a literatura acadêmica, o Rio Grande do Sul se destaca como um dos estados pioneiros na transformação do asfalto convencional, seguido por Minas Gerais e, em setembro de 2000, iniciou a construção de um pequeno trecho de dois mil metros de extensão empregando a reutilização de pneus processados e preparados para serem transformados em asfalto. A figura 1 apresenta a primeira obra com aproveitamento de asfalto proveniente de resíduos de pneus para a construção da via de acesso entre Belo Horizonte e o aeroporto de Confins - MG.

**Figura 1** - Aplicação do asfalto borracha em Confins – MG.



**Fonte:** Morilha e Greca, (2003).

Na camada asfáltica de concreto é composta por combinação de agregados e produto derivado do petróleo para a liga asfáltica. O granular é composto pela a estrutura que assegura a consistência da mistura, e conseqüentemente o ligante da camada asfáltica é responsável pela coesão. Em determinadas situações são adicionadas substâncias aditivas com a finalidade de aperfeiçoar as qualidades da mistura (AZEREDO, 2009).

Nos itens a seguir serão qualificados os dois elementos principais responsáveis pela formação da massa asfáltica, sendo estes, como já citados, os agregados e o ligante asfáltico.

## 2.3 LIGANTE ASFÁLTICO

Os produtos derivados de ligantes asfálticos de petróleo são complexas misturas constituídas de hidrocarbonetos de elevada massa molar, cujos componentes principais são hidrogênio e o carbono, e contém ainda outros elementos como o oxigênio e o enxofre e determinados tipos de metal.

No processo de pavimento asfáltico o cimento asfáltico de petróleo - CAP tem função de ligante, permanecendo responsável pela aglutinação dos agregados minerais já que este é um material com 95% de agregados minerais, como brita de basalto e os outros 5% produtos derivados do petróleo. O CAP compõe o fragmento pesado do processo de destilamento do petróleo e classifica-se como um produto termo sensível utilizado sobretudo em trabalho de construção asfáltica, porque, somadas às propriedades de aglutinação e impermeabilização que naturalmente possui, tem característica de flexibilidade e resistência à atuação da maior parte dos ácidos, sais e álcalis (ELPHINGSTONE, 1997 e FRANQUET, 1999).

Estes, por sua vez, são responsáveis por suportar o peso do tráfego e oferecer estabilidade mecânica ao pavimento. Dentre os agregados minerais mais utilizados pode-se mencionar a areia, o pedregulho, a pedra britada, a escória e o filer, este último é o calcário, matéria-prima obtida através da moagem fina de calcário, basalto, materiais carbonáticos, etc. Por representarem mais de 95% da composição do asfalto, os agregados minerais devem ser extraídos da natureza e beneficiados, sendo os responsáveis pela maior parcela de custo do asfalto produzido (LEITE, 2003).

O produto que dá origem ao asfalto é um ligante betuminoso, como já citado anteriormente proveniente do petróleo, trata-se de um produto de alta aderência termoviscoplastica, impermeável à água e com baixos níveis de reatividades à maior parte dos elementos agressivos. Ressalta-se ainda que a característica determinante de um ligante asfáltico é sua sensibilidade termal. Exposto à temperatura atua como um elemento importante no desempenho dos materiais presentes em sua composição, sendo possível modificar seu estado físico ou sua consistência (BERNUCCI *et al.*, 2008).

Em suas considerações Bernucci *et al.* (2008), mencionam em média noventa e cinco por cento das rodovias brasileiras pavimentadas empregam revestimentos asfáltico. Segundo eles têm diversos motivos para o uso de asfaltos na pavimentação,

destacando a alta adesão dos agregados, flexibilidades apropriadas, além de produto impermeável, durável e resistente a variações climáticas.

## 2.4 AGREGADOS

Considera-se agregados areias, seixos, pedras, e outros elementos artificiais, na maioria das vezes constituindo-se elementos inertes. Quando aproveitados para compor as camadas de base e sub-base, são compostas por solo, brita de rocha, de escórias de alto forno ou pela mistura desses materiais (BERNUCCI *et al.*, 2008; BRASIL, 2006).

Ainda em Bernucci *et al.* (2008) o agregado empregado na pavimentação asfáltica deve ter qualidades de tal modo a aguentar tensões da via pavimentada. Os autores ainda mencionam que os desempenhos de agregados são diretamente ligados à maneira como estes estão unidos, deste modo, salienta-se a relevância do ligante asfáltico.

Igualmente em suas contribuições sobre resíduos Pinto (2010) qualifica os seguintes materiais como resíduos da construção civil - RCC: solo, rocha, concreto armado ou não, argamassas à decorrentes de cimento e cal, metal, vidros, materiais plásticos, madeiras, material betuminoso, gesso – placas e pastas, tinta e adesivo, resto de embalagem, resíduo de cerâmicas vermelhas como telhas e tijolos, cerâmicas brancas sobretudo de revestimentos, cimentos – amiantos, produtos de limpezas de terrenos, entre outros, em proporções variáveis, conforme suas origens.

Desta forma, as camadas de alicerce e sub-base precisam proporcionar esta qualidade. Quando de maneira uniforme granulares, estas camadas serão flexíveis, sendo firmadas através de compressão de um material ou composição de materiais com granulometria apropriada, juntamente a índices geotécnicos precisos, conforme as especificações (BRASIL, 2006).

## 2.5 REGULAMENTAÇÃO DE USO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS

Desde o ano de 2002 que no Brasil as políticas públicas direcionadas à gestão de Resíduo gerado no setor da Construção Civil - RCC visa estimular as companhias

geradoras de resíduos a adotarem novas posturas relacionadas aos resíduos produzidos em suas edificações.

Essa atitude confirma que existe em curso uma conscientização ambiental atrelada a responsabilidade econômica dos gestores do âmbito da construção civil, suscitando preocupações com as necessidades de desenvolvimento processos e materiais de construção ambientalmente menos impactante. Desta forma, o maior ato efetivado em termos legais, mirando à transformação deste quadro, foi a implementação da Resolução nº 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Porém, tal medida tem se mostrado pouco suficiente para que se mobilize de fato e completamente os atores envolvidos a fim de promover o apropriado manejo, redução, reciclagem, reutilização e acomodação dos resíduos provenientes da construção civil (LACÔRTE, 2013).

A iniciativa de reciclar os resíduos torne-se numa possibilidade de desenvolver a consciência das empresas para que se coloque em prática os discursos de sustentabilidade ambiental, ao mesmo tempo em que contribui para a diminuição dos riscos de contágio do solo que por sua vez contamina os lençóis freáticos, e igualmente pela possibilidade de reduzir os custos e consumos de eletricidade de na fabricação de um produto novo. O setor da construção civil, pelo importante volume físico de produtos que estão incorporados, é um potencial mercado para reciclagem (SILVA, 1997).

Para dar sustentação à Resolução 307 do CONAMA, a Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT fez-se publicar no ano de 2004 várias cláusulas referentes a resíduo produzido pela construção civil, as quais vêm de encontro às diretrizes propostas pela Resolução. Necessariamente essas normatizações fazem referência aos campos de reciclagens, como a aterros de resíduo gerado pela construção civil:

- NBR-15112/2004 – Resíduos da construção civil e resíduos volumosos – Área de transbordo e triagem – Diretrizes para projeto, implantação e operação;

- NBR-15113/2004 – Resíduos sólidos da construção civil e resíduos inertes – Aterros – Diretrizes para projeto, implantação e operação;

- NBR-15114 /2004 – Resíduos sólidos da construção civil – Áreas de reciclagem – Diretrizes para projeto, implantação e operação;

· NBR-15115/2004 – Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Execução de camadas de pavimentação – Procedimentos;

· NBR-15116/2004 – Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos (ABNT, 1983).

Com a finalidade de tornar mais fácil a gestão dos RCC's, a Resolução 307 do CONAMA os qualifica em quatro classes (A, B, C e D):

Art. 3º. Os resíduos da construção civil deverão ser classificados, para efeito desta Resolução, da seguinte forma:

I – Classe A – são os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, como: a) de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem; b) de construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento etc.), argamassa e concreto;

c) de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meios-fios, etc.) produzidas nos canteiros de obras;

II – Classe B - são os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como: plásticos, papel/papelão, metais, vidros, madeiras e outros; III – Classe C - são os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem/recuperação, tais como os produtos oriundos do gesso;

IV – Classe D: são resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como tintas, solventes, óleos e outros ou aqueles contaminados ou prejudiciais à saúde oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros, bem como telhas e demais objetos e materiais que contenham amianto ou outros produtos nocivos à saúde (CONAMA, 2002, p. 57).

Lacôrte (2013), em suas análises do Art. 3º da Resolução 307, fez alguns lembretes que ajudam no entendimento dessas normas. Ele entende que os resíduos da Classe A são aqueles produzidos, especialmente, na etapa de vedação e conclusão. Esse fato se deve, na maioria das vezes, pela ausência de projeto dessas fases de uma obra.

Ressalta que em alvenarias estruturais e de vedação, a uso dos conceitos de modulação, através do uso de meios blocos e espessura adequada de concreto no assento podem diminuir expressivamente os desperdícios, bem como a geração de resíduos. Isso confirma a presunção de que o eficiente planejamento da implementação da alvenaria, desde a fase dos projetos de arquitetura até a estrutura e acomodações pode diminuir de forma drástica a produção dos resíduos tipificados por Lacôrte (2013) na classe A.

No tocante ao material residual tipificados na Classe B, como: madeiras, metal, papelão, plásticos e vidros, Lacôrte (2013) ressalta a importância da separação desses materiais que possam transmitir alguma contaminação, como sacos de cimentos dos não contaminados embalagens, plásticos filmes, aparas de tubulação, vidro plano.

Por sua vez, os resíduos classificados na Classe C não têm aproveitamentos futuros, enquadrando-se aí os produtos provenientes de gessos. A metodologia empregada em sua produção impossibilita a sua reciclagem ou recuperação, sendo descartados.

Concluindo, as sobras relacionadas na Classe D são consideradas nocivas à saúde humana, são elas: tinta, solvente, óleo, amianto, produto contaminado de demolição hospitalar, dentre outras. Precisam ser segregados imediatamente após a geração dos resíduos para que não contamine outros resíduos. O reaproveitamento e reciclagem deve ficar sob responsabilidade de empresas credenciadas, atendendo às especificações da legislação vigente (LACÔRTE, 2013).

A destinação dos resíduos da construção civil – RCC's precisa seguir os seguintes procedimentos, de acordo com as especificações expressas no Art. 10 da Resolução 307 do CONAMA:

Art. 10. Os resíduos da construção civil deverão ser destinados das seguintes formas:

I – Classe A: deverão ser reutilizados ou reciclados na forma de agregados, ou encaminhados a áreas de aterro de resíduos da construção civil, sendo dispostos de modo a permitir a sua utilização ou reciclagem futura;

II – Classe B: deverão ser reutilizados, reciclados ou encaminhados a áreas de armazenamento temporário, para permitir a sua utilização ou reciclagem futura;

III – Classe C: deverão ser armazenados, transportados e destinados em conformidade com as normas técnicas específicas.

IV – Classe D: deverão ser armazenados, transportados, reutilizados e destinados em conformidade com as normas técnicas específicas.

Cientes dessas informações já se pode descrever a possibilidade de realizar o encaminhamento apropriado dos resíduos da construção civil, bem como a economia que pode advir da sua utilização na própria obra. Com os novos parâmetros da engenharia civil, em que se procura criar condições de mais harmonia entre esta e a questão ambiental, buscou-se nesta pesquisa bibliográfica colaborar para a preparação de métodos com vistas ao aproveitamento de materiais recicláveis na engenharia de construção asfáltica, ambicionando, desta forma menos utilização dos recursos naturais que não são inesgotáveis e contribuir para a edificação da prática de desenvolvimentos sustentáveis.

Percebe-se que as informações contidas na Resolução do CONAMA expressas acima são bem claras no sentido de prover orientação em relação ao que se deve e o que não se deve utilizar no processo de reutilização dos RCC's.

### 3. CARACTERÍSTICA DOS MATERIAIS EMPREGUES NA CONSTRUÇÃO ASFÁLTICA

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), por meio da norma NBR 7207/82, determina o conceito de pavimentação como sendo uma estrutura edificada posteriormente aos serviços de terraplenagens e destinadas de maneira econômica e simultaneamente em seu conjunto a: resistência e distribuição aos subleitos os esforços verticais ocasionados pelo trânsito intenso; aperfeiçoar a condição de rolamentos quanto à segurança e comodidade; assegurar resistência aos esforços horizontais que nela operam tornando mais firmes as superfícies de rolamentos.

#### 3.1 PAVIMENTO RODOVIÁRIO

A importância do uso da borracha na construção de rodovias é enfatizada por Mellone; Santos e Shibao (2013) que avaliaram, em suas pesquisas bibliográficas, as vantagens técnicas e econômicas do uso de asfalto proveniente da borracha e, analisou-se *in loco* umas aplicações desse recurso tecnológico, considerando que a presença de pneus triturados na mistura asfáltica pode representar uma das alternativas viáveis para a construção de rodovias com selo de sustentabilidade por causa do elevado volume de pneus comercializados no Brasil. Em seus estudos, as autoras procuraram responder à seguinte pergunta “A utilização da borracha derivada de pneus descartados/inservíveis pode viabilizar a construção asfáltica?” Os pneus, em seu período de vida útil, quando utilizados corretamente, rodam entre 90 e 120 mil Km e, após isso, apresenta pequenas perdas, que pode chegar a 10% do peso inicial, e, é essa baixa perda de peso que o torna como uma das alternativas ideais para reuso na mistura asfáltica.

Conforme informações da Agência nacional de Pneumáticos (ANIP) – (2020), o Brasil comercializou um total de 39.122.630 pneus em agosto 2019, sendo que, em 2020, foram 30.363.869. Conforme dados mostrados na Figura 2.

Figura 2 - Pneus vendidos no período acima citado.



Fonte: ANIP (2020).

Tecnicamente, pavimentações asfálticas são estruturas divididas em espessuras e camadas, construídas sobre um alicerce, denominado de fundação do subleito que terá a finalidade de suportar a corrente permanente do tráfego rodoviário, tende a proporcionar ao usuário melhor condição para desenvolver uma viagem rápida e segura. É importante destacar que, a camada que mais estiver próxima da superfície apresenta maior qualidade e, portanto, apresenta uma elevação de custo (BERNUCCI *et al.*, 2008).

Os métodos de pavimentações asfálticas são compreendidos por edificações de diferentes divisões, iniciando pelos revestimentos que são destinados a receber a carga dos carros e com a ação direta do clima. Assim, essa parte do revestimento asfáltico precisa ter um nível de impermeabilidade elevado além de proporcionar resistência aos atritos de contatos pneus-pavimento em permanente movimentação, que variam de acordo com as cargas e as velocidades permitidas ao tráfego.

Pavimentação rodoviária pode ser definida da seguinte maneira: uma estrutura de múltiplas camadas de espessuras finitas, construída sobre a superfície final de terraplenagem, destinada técnica e economicamente a resistir aos esforços oriundos do tráfego de veículos e do clima, e a propiciar aos usuários melhoria nas condições de rolamento, com conforto, economia e segurança (BERNUCCI *et al.*, 2008).

O Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT assegura que a fim de que se ande com segurança a pavimentação deve tolerar as consequências decorrentes das variações climáticas, não ocasionar desgastes

excessivos dos pneus e níveis elevados de barulhos, ter forte estrutura, oferecer resistência ao fluxo de carros, sem esquecer da aderência na pista para impedir derrapagem (BRASIL, 2010).

A fim de acolher tais condições, o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes assinala ainda que a estrutura das pavimentações asfálticas é de grande relevância, precisando ser constituídas por camada que distribua as demandas de cargas, impondo limites às deformações e de modo a assegurar desempenhos correspondentes da edificação, por longos períodos (BRASIL, 2010).

As pavimentações rodoviárias são normalmente classificadas em rígidas e flexíveis. Na maioria das vezes, o pavimento rígido tem em sua composição revestimentos de concretos de cimentos Portland e as flexíveis revestimentos de concretos de cimentos asfálticos derivados de petróleo. Os vocábulos flexíveis e rígidos relacionam-se às respostas estruturais do material de forma isolada, mais relevante ainda, às respostas estruturais de toda a pavimentação. Uma pavimentação flexível sob carregamentos apresenta um campo de tensões concentrado enquanto um pavimento rígido oferece campos bem mais dispersos, com a tensão distribuída num campo mais amplo (BALBO, 2007).

Em Balbo (2007) orienta-se que pavimentos poderão até não ter camadas de sub-bases ou de reforços, entretanto, a presença de revestimentos e subleitos são qualidades mínimas desejadas para que as estruturas sejam denominadas de pavimentação. O mesmo autor esclarece que a estrutura dos pavimentos é concebida para auferir e transmitir esforços de maneira a suavizar compressões sobre as camadas inferiores, que na maioria das vezes são menos resistentes.

### 3.2 DELIMITAÇÃO DE MATERIAL AGREGADO

O agregado é produto granular, em regra inerte, constituído de fragmentos com dimensão apropriada para as edificações de engenharia. São vastamente empregues como materiais para enchimentos inertes nos concretos, tomando em média 80% do volume integral deste (NEVILLE, 1997).

Existe uma consonância na literatura de que selecionar material agregado inadequado pode culminar em aparecimentos patológicos graves. Desta forma, Sbrighi Neto (2000) ressalta que é de grande relevância que se conheça as

características e aplicações de teorias tecnológicas na seleção desses materiais procurando otimizar as relações custos x benefícios na produção de concreto e argamassa. Esse mesmo adverte igualmente que, nessa escolha, além dos critérios de manifestação técnica, é imprescindível medir os custos finais dos produtos, concreto ou argamassa e não somente as despesas dos insumos. Assim, torna-se imperativo avaliar a influência das propriedades dos agregados na propriedade do concreto.

Para o concreto convencional a influência dos agregados na resistência do concreto não é expressiva, uma vez que sua capacidade de resistência à compressão apresenta uma variação em torno de 150Mpa (BAUER, 1994).

Para que se caracterize um agregado é imprescindível avaliar determinados parâmetros intrínsecos a esse material, como: granulometrias, massas específicas reais e massas específicas unitárias ou aparentes. As análises granulométricas são nomes dados a uma intervenção simples de separar as amostras dos agregados em fragmentos de partículas de mesma extensão, que é definida por abertura de peneira padronizada. A finalidade principal das análises granulométricas são de estimar a constância das dimensões das partículas. (GIAMMUSSO, 1992).

As classificações desses materiais podem ser feitas, conforme a ABNT, por meio da NBR 7211 (2009), em miúdos e graúdos. Agregado cujo grão passa na raia de triagem da peneira de abertura que equivale a 75mm e fica retido na de 4,8mm é chamado de graúdo. O material que passa na raia da peneira de 4,8mm e é retido pela peneira de 0,15mm é denominado miúdo.

Somado a isso, segundo Souza (2007), os agregados podem receber a classificação conforme suas origens, em mineral ao natural, mineral beneficiado e artificial. A massa específica aparente ou unitária é a massa da unidade de volume do agregado, compreendendo todas as cavidades existentes nos grãos (SOUZA, 2007).

Souza (2007) relata ainda a possibilidade classificação dos agregados com base em massas específicas, podendo os agregados serem leves, médios ou pesados. Essas diferenças de massas específicas permitem empregar os agregados procurando diferentes qualidades, como a própria isolação térmica, por exemplo.

### 3.3 RESÍDUOS DE PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA

Os materiais de revestimento asfálticos por misturas são preparados numa fábrica estacionária e posteriormente levados para o local onde será utilizado, seu lançamento é realizado por uma máquina apropriada para essa finalidade, denominada vibro-acabadora. A seguir, inicia-se o processo de compactação, até alcançar um nível de compressão ideal tal que seja resultado de uma acomodação estrutural firme e de resistência, tanto à deformação permanente quanto à deformação elástica repetida do tráfego de veículos (BERNUCCI *et al*, 2008).

Somado a sua propriedade física, que pode ser mensurada de maneira equivalente aos agregados, existe classificação proposta expressa na NBR10004:2004 e por meio de resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA nº 307.

Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, nos termos da NBR10004:2004 apresenta a obrigatoriedade de se ter algum conhecimento sobre resíduo sólido e os efeitos promovidos por esses ao meio ambiente e aos riscos que os mesmos podem oferecer à saúde. E definem resíduos sólidos como sendo aqueles que resultam de atividades de origens industriais, domésticas, hospitalares, comerciais, agrícolas, de trabalhos e de limpeza de ruas, e podem ser considerados assim:

- a) Resíduo categoria I - Perigoso;
- b) Resíduo categoria II - Não perigoso;
- c) Resíduo categoria IIA - Não inerte;
- d) Resíduo categoria IIB – Inerte;

A fim de efetuar as devidas classificações acima descritas, é necessário lembrar se os materiais são inflamáveis, corrosivos, reativos, tóxicos ou patogênicos. Por sua vez, para que se classifique os materiais como inertes ou não inertes, são feitos testes examinando se em contato com água tem ou não solubilização que descaracterize os padrões de potabilidades da água. Não havendo, a classificação é feita como inerte. Os materiais não inertes podem proporcionar biodegradabilidades, solubilidades em água e/ou combustibilidades (JOHN; ÂNGULO, 2004).

Nas pavimentações asfálticas do tipo concreto mais de noventa por cento das misturas utilizadas correspondem a agregado de múltiplas granulometrias. Freando desta forma as crescentes explorações de pedreiras para comercialização de agregados naturais juntamente com a diminuição de espaços destinados a aterro e ao acréscimo de métodos de reciclagens de resíduos, vários estudiosos têm sugerido a aplicação de materiais provenientes de reciclagens em pavimentos asfálticos, com o propósito de estimular sua reutilização na cadeia do sistema de construção imobiliária (ROZEK, 2007).

#### 4. A SUSTENTABILIDADE PRESENTE NO REVESTIMENTO ASFÁLTICO DERIVADO DA BORRACHA

Em razão da crescente preocupação com o meio ambiente, um fator que se questiona sempre é sobre o destino dado aos pneus inservíveis, ou seja, pneus, sem condições de uso ou recuperação. O maior problema com relação a esses materiais refere-se a sua capacidade de duração que é de aproximadamente seiscentos anos, ou seja, há desafios para seu reaproveitamento. O emprego de borrachas de pneus moídos, ou pó de pneus, na mistura asfáltica tem se apresentado como uma das alternativas que podem proporcionar grande redução, tanto no que diz respeito de diminuição de volumes em aterro sanitário, e também à preservação ambiental (MARTINS, 2004).

**Figura 3 - área de descarte de pneus inservíveis em Fortaleza-CE**



Fonte: Oliveira; Castro (2019).

Os desempenhos apresentados de um pavimento flexível estão condicionados às características gerais de seus componentes. Essas características dependem dos materiais utilizados, como solo, agregados e ligante, da dosagem da mistura betuminosa, das condições de compactação, do processo construtivo, do tráfego e de fatores climáticos. A adição de polímeros ao ligante asfáltico, a fim de melhorar suas propriedades, tem sido feita desde o início da década de 70 na Europa e nos Estados

Unidos. Nas últimas décadas a utilização de ligantes asfálticos modificados com polímeros tornou-se expressiva, devido a necessidade de rodovias que melhor suportassem o elevado volume de tráfego e que atendessem as exigências de conforto e segurança dos usuários (WICKBOLDT, 2005).

#### 4.1 ASFALTO BORRACHA

De acordo com a literatura as atividades construtivas empregando o chamado asfalto-borracha iniciaram por volta de 1940, quando uma companhia de reciclagens de borrachas, a U.S. *Ruber Reclaiming Company*, adentrou no comércio produtos compostos de materiais asfálticos e borrachas desvulcanizadas recicladas designada Ramflex TM.

A Figura 4 ilustra as etapas de processamento de pneus em situação de descarte para transformação em massa asfáltica

**Figura 4 – Fases de transformação do pneu em matéria prima de asfalto**



**Fonte:** Fontana Filho (2009).

O processamento de borrachas oriundas do descarte de pneus descartados pode ser empregado como componente dos materiais ligantes da mistura asfáltica, ou borracha asfáltica, ou como concreto asfáltico modificado pela adição de borracha. Para uma estrada de tráfego em condições normais de uso as camadas seladoras de ligante asfáltico proveniente da borracha emprega-se em média mil pneus por cada mil metros de asfalto construído com uma pista de mão e contramão (PIVOTO, 2015).

Segundo Di Giulio (2007), o mais explícito dos diferenciais e tidos como impactos positivos no reuso de pneus descartados para mistura asfáltica está na questão ambiental, se considerar que a recuperação de piso neste formato, onde se emprega cerca de mil pneus por quilômetro, reduzindo significativamente o descarte desses materiais em aterros ou fora deles.

**Figura 5 - Borracha derivada do pneu pronta para receber o ligante asfáltico**



Fonte: D'antona (2019).

A pavimentação ecológica, igualmente conhecida como asfalto borracha se bem aplicada pode resolver uma parte considerável dos problemas ambientais causados e enfrentados em decorrência da ação humana, já que a borracha presente nos pneus é modificada. Os pneus que seriam descartados pelo desuso passam por um processo de moagem, e, em grande quantidade, esses resíduos sólidos processados se torna um produto nobre para a pavimentação asfáltica (BERNUCCI *et al.*, 2008).

Não é uma metodologia recente. A técnica de reaproveitamento de pneus para a construção de asfalto foi utilizada pela primeira em 1963 por Charles Henry, conhecido como o “pai” da borracha, nos Estados Unidos da América, ele produziu diferentes análises sobre as propriedades asfálticas e a que melhor atendia às condições de resistência e durabilidade à época foi a experiência com pneus (FONTANA FILHO, 2009).

Nos Estados Unidos, Charles H. MacDonald produziu um material de elevados teores elásticos para serem utilizados na conservação de pavimentações asfálticas. O referido material tinha uma composição de ligantes asfálticos que são os derivados de petróleo e vinte e cinco por cento de borracha triturada de pneus inservíveis, misturadas à 20 190°C por vinte minutos, para ser utilizada em recuperação dos denominados “bandaid” (WICKBOLDT, 2005).

Nos Estados Unidos ainda Charles McDonald cruzava o país num trailer para vistoriar as estradas quando fez um experimento com misturas pneus triturados com ligante asfáltico para vedar rachaduras no teto do seu automóvel. Suas observações concluíram que, com o passar dos tempos, a combinação de borracha com o ligante não apresentou oxidação, contrariando aquelas com material asfáltico tradicional. Charles H. MacDonald, que era engenheiro, fez o experimento utilizando a misturas de pó de pneus e ligante asfáltico quente para os trabalhos rotineiros de tapa-buraco. No mesmo ano, diversos artigos científicos foram publicados destacando as propriedades desse produto (SPECHT, 2004).

De acordo com Shatnawi *et al*, (2000), no Arizona, em média, noventa por cento dos trabalhos de pavimento são feitos com asfalto-borracha. No estado americano da Califórnia, o asfalto-borracha tem aplicação garantida em capeamento selante, em superfícies que absorve a tensão e como selante de trincas e juntas.

Em razão da relevância ambiental em se encontrar soluções para a destinação correta dos pneus inservíveis, no ano de 1991 o *Intermodal Surface Transportation Efficiency Act* – ISTEA, órgão americano deliberou pelo emprego de borrachas proveniente de pneu em pavimentações asfálticas (EPPS, 1994).

No Brasil começava em 1999 pesquisas no sentido de viabilizar a produção e manutenção de asfáltica modificada por borrachas - AMB. As primeiras pesquisas focalizavam no emprego da borracha como material de aperfeiçoamento da qualidade do asfalto tradicional. No ano de 2001, posteriormente às análises, utilizou-se pela primeira vez o AMB nas rodovias brasileiras. Sua aplicação inicial aconteceu em 21 de setembro daquele ano, no km 420 da BR 116, estrada da concessionária Univias. O espaço selecionado está entre os municípios de Guaíba e Camaquã, no Rio Grande do Sul (GRECA ASFALTOS, 2011).

Quase vinte anos depois do primeiro experimento, as despesas de investimentos para esse modelo de pavimentação ainda são consideradas altas.

Porém, analisando como método promissor, pois proporciona maiores durabilidades, menores ruídos e menos custos de conservação (WICKBOLDT, 2005).

A mistura asfáltica em que se emprega borracha é, normalmente, produzida com resto ou resíduo de pneus e são adquiridas através de diversas metodologias, compreendendo o processo úmido e seco. Essa mistura pode conter algum aditivo ou modificador como diluente e lubrificantes, dentre outros. A fim de normatizar e dar mais segurança aos trabalhos em rodovias com esse material, no dia 13 de dezembro de 2008 a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – ANP, apresentou a regulamentação a uso do cimento asfáltico de petróleo modificado por borrachas de pneus moídos, ou comumente dito, asfalto-borracha (WICKBOLDT, 2005).

#### 4.2 MATÉRIA PRIMA

Nos empreendimentos de construção asfáltica, o reuso do pneu pode ser incorporado aos outros componentes da do processo de construção de rodovias por meio de duas metodologias: metodologia úmida ou seca. No método construtivo úmido, o produto derivado da moagem de pneus oriundos de rejeite é incorporado a outros ingredientes ligante asfáltico antes de se acrescentar o agregado. Quando da adição de borracha ao ligante asfáltico, ocorre reação entre os componentes e a alteração de suas propriedades. No método seco, os resíduos derivados do pneu em situação de rejeite são misturados com outros agregados antes de se acrescentar o ligante da massa asfáltica (LEITE, 2019).

Sabe-se que pneus, em determinado período, se converterão em resíduos extremamente prejudiciais, acarretando diversos impactos ambientais e à saúde pública, especialmente se descartados de forma incorreta. Portanto, é preciso que se adote medidas, dando a esses resíduos um destino que não agrida à saúde pública ou a natureza. A recauchutagem e reciclagem pode ser uma proposta, entretanto, em um dado momento não será possível repetir essa ação. Assim, deve-se pensar e criar condições para reduzir os impactos ambientais no momento do descarte definitivo, aproveitando-os para a pavimentação asfáltica (CURY *et al.*, 2015).

A trituração dos pneus, conforme Specht (2004), pode ocorrer de diferentes maneiras, abrangendo o cisalhamento, que é o corte em pequenas frações,

mecânicos dos pneus submetidos à temperaturas ambiente, o congelamentos dos materiais e posterior trituração e o método de extrusão com a utilização de aditivo. Outra maneira de se obter borracha granulada é o reaproveitamento da raspa proveniente da preparação dos pneumáticos para recauchutagem.

Segundo o pesquisador, somado aos métodos úmido e seco, tem um terceiro, designado método misto, em que se realiza a mistura de forma idêntica ao do método a seco, entretanto, com o emprego do material ligante transformado com borracha.

A transformação do ligante asfáltico utilizado em pavimento, com acréscimo de borrachas de é estimada uma opção atrativa sob vários aspectos para o aperfeiçoamento da propriedade de cada material betuminoso, se considerar que efeito de acabamento é um calçamento com qualidade técnica superior às constatadas na mistura asfáltica convencional (NEVES FILHO, 2004).

Conforme Wickboldt (2005 p. 27) as borrachas provenientes de pneus possuem extraordinárias qualidades físico-químicas para serem incorporadas aos materiais ligantes convencionais, ocasionando diversos avanços que podem se refletir diretamente na resistência da pavimentação.

Os benefícios da utilização de pneus triturados ou outras borrachas na mistura asfáltica deve considerar não apenas as vantagens ambientais, como também o emprego das técnicas da engenharia moderna.

### 4.3 PREPARAÇÃO

Conforme Wickboldt (2005, p. 34), os métodos mais comuns para adicionar borrachas proveniente de pneus na mistura asfáltica se dão por meio dos seguintes procedimentos:

a) método a seco:

a borracha é introduzida diretamente no misturador da usina de asfalto. Neste caso a borracha entra como um agregado na mistura. A transferência de propriedades importantes da borracha ao ligante é prejudicada, embora seja possível agregar melhorias à mistura asfáltica.

b) Procedimento úmido:

a borracha é previamente misturada ao ligante, modificando-o permanentemente. Nesta modalidade ocorre a transferência mais efetiva das características de elasticidade e resistência ao envelhecimento para o ligante asfáltico original. No processo úmido o pó de pneu representa

aproximadamente 15% da massa do ligante ou menos que 1,5% da massa da mistura.

Os problemas verificados de compatibilidades entre o tipo de polímero modificador, inclusive a borracha moída de pneu e o ligante tradicional, deve ser mencionado.

#### 4.4 PARÂMETROS DE DESEMPENHOS

Em Specht (2004) menciona-se aspectos que podem influenciar nos desempenhos das camadas de revestimentos, a saber:

- a) Qualidade do material utilizado;
- b) Dosagens;
- c) Condição de compressão;
- d) Processos construtivos empregues no pavimento;
- e) Planos de conservação e reparo;

Conforme Rodrigues (2005), os ligantes modificados por borrachas granuladas de pneu ou meramente asfalto-borrachas, apresentam as seguintes propriedades:

- Diminuição de suscetibilidades térmicas: mistura com ligantes AB é mais resistente às alterações de temperaturas, ou seja, sua performance tanto a elevada como a baixa temperatura é melhor se fizer a comparação com pavimentação construída com ligante tradicional;

- a) Ampliação de flexibilidade, em razão da maior concentração de elastômero na borracha de pneus;
- b) Melhores adesividades aos agregados;
- c) Ampliação da vida útil da pavimentação;
- d) Maior capacidade de resistir ao envelhecimento: a apresentação de carbono e antioxidante na borracha auxilia na diminuição do envelhecimento por oxidação;
- e) Resiste melhor ao aparecimento das rachaduras e ao desenvolvimento de trilha de rodas;
- f) Possibilita a diminuição de espessuras do calçamento;
- g) Proporcionam mais adesão pneu-pavimentos;

h) Diminuição do barulho provocado pelo trânsito entre 55 e 75%.

Os processos úmidos são os que dão origem ao ligante designado asfalto borracha, deliberado pela Norma Americana ASTM D 6114-97 como combinação de argamassa asfáltica, borrachas de pneus recicladas e determinados adicionais, dos quais a percentagem de borracha precisa ser em média uns quinze por cento do peso do integral da mistura e passar pelo processo de mistura (ASTM, 1997) e (RODRIGUES, 2015).

#### 4.5 COMPARATIVO TÉCNICO

Concernente à característica da pavimentação tradicional e da pavimentação proveniente de borracha de pneus, um aspecto relevante é o desenvolvimento de fraturas e frestas no pavimento. Conforme Bernucci, *et. al*, (2007) o pavimento com asfalto borracha apresenta considerável resistência aos trincamentos e as alterações que normalmente surgem nos pavimentos tradicionais.

O desempenho da pavimentação borracha e da pavimentação convencional pode ser avaliado através de diferentes ensaios laboratoriais, como: Pontos de Amolecimentos; Ductilidades; Adesividades; Viscosidades; Atilamento, dentre outros (BERNUCCI *et al.*, 2007).

Observa-se que o asfalto derivado de borracha é satisfatório nos resultados de aplicação, aumentando os níveis de qualidade do pavimento, maior vida útil, influenciando diretamente nos custos de transporte nacional, resultando na diminuição das despesas com manutenção.

## 5. METODOLOGIA

O estudo trata-se de uma revisão de literatura com a finalidade reunir e resumir o conhecimento científico já produzido sobre o tema investigado, que permite buscar, avaliar e sintetizar as evidências disponíveis. A pesquisa bibliográfica é uma pesquisa é feita a partir do levantamento de referências teóricas já analisadas, e publicadas por meios escritos e eletrônicos, como livros, artigos científicos, buscando referências teóricas publicadas com o objetivo de recolher informações ou conhecimentos prévios sobre o problema a respeito do qual se procura a resposta (FONSECA, 2002).

Toda a coleta de dados e a separação dos materiais usados como referência para o referido trabalho de pesquisa ocorreu no período de agosto a setembro de 2021. A análise das informações foi realizada por meio de leitura exploratória do material bibliográfico encontrado, a leitura dos artigos permitiu evidenciar as principais convergências encontradas que foram sintetizadas e agrupadas em planilha.

Fez-se um estudo descritivo de revisão de literatura com abordagem qualitativa sobre o tema proposto, a partir das análises de artigos indexados nas principais bases de dados de bibliotecas virtuais do Google Acadêmico.

Os critérios de inclusão na seleção dos artigos foram: idioma da publicação ser de tradução livre em português (BR), artigos cuja temática seja a relação entre o tema ora abordado e o período de publicação entre 2000 e 2021; disponibilidade na íntegra dos artigos, de forma online e gratuita, contudo, sabe-se que existem informações consideradas relevantes para o corpo do trabalho que foram publicadas fora desse período de prioridade e que farão parte do mesmo.

Como critério de exclusão, indica-se: artigos não disponíveis em sua integralidade; artigos de revisão de literatura e/ou integrativa e editorial incompletos/inconclusos.

Este trabalho é resultado de uma revisão bibliográfica, não sendo, portanto, necessária pesquisa de campo ou estudo de caso, e por assim ser, não foi submetido ao comitê de ética e os dados serão descritos conforme a narrativa e interpretação colhida de diferentes autores.

Posto isso, é possível afirmar que o asfalto borracha é uma opção muito atraente pelas diversas razões expostas ao longo dessa pesquisa, pois, procura

mitigar o dano ambiental, ao mesmo tempo em que contribui nas buscas por melhorias qualidade ambiental. Outro ponto fundamental é que não se pode levar apenas em conta os fatores econômicos, mas também os ganhos oferecidos à sociedade, que inclui um aumento na qualidade de vida da população e um meio ambiente ecologicamente correto.

Os teóricos que embasaram esta pesquisa estão mencionados como citação indireta no decorrer ou preferencialmente no final de cada parágrafo do texto. A realização de pesquisa se deu através de consultas feitas em livros, monografias e em artigos científicos relacionados à sustentabilidade aplicada à construção rodoviária.

As citações diretas longas se referem a transcrição de normas e leis ou em casos raros, citou-se as informações de autores utilizados na pesquisa, com as palavras do teórico.

## 6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Segundo Reda Taha et al (2008), os estudos de pneus aplicados à construção do asfalto-borracha foram selecionados por apresentar, além das motivações ambientais, igualmente a probabilidade de reaproveitamento de grande quantidade de borracha proveniente do resíduo proveniente de pneus inservíveis como matéria-prima para novos tipos utilização.

Por sua vez, Chung e Hong (2009) advertem que no começo do século XX já se utilizavam em média por ano 500 toneladas de borrachas natural e, em menos de cem anos depois, a utilização de borrachas, sintética e natural, atingiria as doze milhões de toneladas anualmente.

A estrutura de um pneu é composta por diversos materiais, dentre os quais se podem mencionar: uma estrutura em aço, náilon, fibra de aramid, rayon, fibra de vidro e/ou poliéster, borracha, podendo ser sintético ou natural, diferentes polímeros, reforçadores químicos, anti-degradantes, óleo dentre outros (GOMES FILHO, 2007).

Dentre as normas que compõem a Associação Brasileira de Normas Técnicas, a NBR-7207:1982 delibera que pavimentos são estruturas construídas posteriormente ao processo de terraplenagens e destina-se, econômica e de forma simultânea, em seu conjunto, ofereça resistência e distribuir ao subleito, os esforços verticais produzidos pelo tráfego, melhorar as condições de rolamento quanto à comodidade e à segurança e resistir aos esforços horizontais que nela atuam, tornando mais durável a superfície de rolamento (ABNT, 1982).

Specht (2004) salienta que processos de pavimentações asfálticas precisam ter resistência às diferentes formas de impactos sofridas com desgastes oriundos do trânsito intenso de veículos leves e pesados e aos desgastes provocados pela própria ação do tempo, de forma que suas características físicas e mecânicas garantam os desempenhos do tráfego.

Ainda, em Reda Taha et al., (2008) sugerem-se que o descarte de pneu inservível disposto em aterro sanitário se constitui em iminentes perigos ambientais e, resultará, seguramente na contaminação ambiental. Pode-se mencionar alguns conflitos ambientais que tem motivado ou exercido pressão nos gestores públicos e privados em busca de uma solução: a) o aumento da quantidade de pneus inservíveis; b) o ampliação nos despesas de manutenção de aterro; e c) o aumento da pressão

da opinião pública e dos ambientalistas para limitação do número de aterros sanitários disponíveis, resultando em um movimento que tentará proibir a eliminação de pneus inteiros nos aterros.

O emprego da borracha proveniente de pneus inservíveis na construção asfáltica tem a vantagem de prolongar o tempo de vida útil das pavimentações, diminuindo as despesas de manutenção do asfalto, aperfeiçoando as propriedades do ligante, ampliando a sua capacidade de resistência a possíveis acúmulos de precipitação, deformações permanentes e ao manifestação/surgimento de trincas e ou fissuras por fadigas e de contrações térmicas.

As leituras que embasaram este trabalho possibilitaram compreender que o asfalto borracha é uma excelente alternativa mesmo para vias de elevado fluxo de veículos, bastante flexível e elástico permitindo que o asfalto borracha se movimente com as cargas dos veículos, esses movimentos fazem com que não sejam geradas as trincas, ficando um pavimento mais resistente e durável.

Mediante o exposto, conclui-se que este trabalho alcançou sua proposta que foi pesquisar se há uma forma segura de utilização de pneus descartados na construção e pavimentação de rodovias, deixando evidente que atendendo os princípios regulamentares na legislação, combinado com técnicas modernas da engenharia é possível sim construir de forma segura reaproveitando os resíduos da borracha ou outros sólidos provenientes da construção civil para a construção asfáltica, numa ação sustentável em que ambos ganham, sociedade e natureza.

As leituras realizadas para fundamentar esse trabalho pode assegurar que o ligante asfalto-borracha se mostra uma das alternativas ambientalmente adequadas, além de sua viabilidade, conferindo um destino correto ao pneu inservível.

## 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao longo desse trabalho, paralelamente à necessidade de preservação ambiental no que diz respeito à extração de produtos da natureza para a construção de rodovias como, produtos minerais, desmatamentos, dentre outros mencionados, frisou-se o *déficit* de estradas pavimentadas, além de manutenção das já existentes no país, e por isso, apresentou-se os resíduos sólidos como proposta de solução desse problema, ao mesmo tempo em que promove a sustentabilidade.

Descreveu-se aqui nas seções anteriores desse trabalho a relevância do mesmo, mas também mostrou os impactos que esse setor provoca no meio ambiente, não apenas uma edificação em si, mas todo o processo da cadeia produtiva, das indústrias correlatas da construção civil, sem esquecer de apresentar as sugestões para a redução desses impactos ambientais provocados pela implementação desses empreendimentos. Tornando-se imperativo, deste modo, que se dedique maior atenção ao aproveitamento dos resíduos gerados pela própria construção civil, no sentido de seu reaproveitamento consciente, contribuindo para a disseminação de um pensamento social em que privilegie a sustentabilidade também nos processos da construção civil.

Os benefícios encontrados na aplicação do asfalto borracha puderam ser apresentados ao longo da elaboração desse trabalho sob o ponto de vista de diferentes estudiosos, dentre as vantagens, pode-se destacar um período de maior de vida útil da pavimentação asfáltica, aderência elástica, ampla capacidade de resistir à oxidação, que por sua vez ocasiona a deterioração precoce, resistências maiores à ação do tempo, dentre outras.

Deste modo, o conceito de aplicação do asfalto aqui mencionado ainda precisa ser mais difundido e praticado pelas indústrias da construção rodoviária, necessitando, especialmente, destacar que além de ser um investimento que privilegia a reutilização um material que sendo descartado na natureza seria extremamente prejudicial ao meio ambiente. Considera-se ainda que sua utilização na construção asfáltica gera economia por se tratar de um produto de reaproveitamento e por sua capacidade de resistência à ação do tempo.

Desta forma, a reutilização dos resíduos sólidos pela indústria da construção civil firma-se com relevância extraordinária para as práticas sustentáveis, seja

diminuindo os impactos ambientais suscitado por este importante setor ou simplesmente diminuindo as despesas.

Em contrapartida tem-se a desvantagem do custo da matéria prima pronta e o controle tecnológico mais apurado para a produção. Com a tecnologia usada no asfalto borracha, é possível unir situações que viabilizam a economia e respeito ambiental, e a qualidade nos transportes. Uma pavimentação de qualidade permite aos usuários um tráfego seguro, confortável e com fluidez.

Este trabalho não teve a pretensão de esgotar o debate sobre esse tema, tampouco quis-se colocar essa como única forma de construir pavimentos rodoviários seguros e eficientes. Portanto, deixa-se como sugestão de trabalhos futuros a possibilidade de pesquisadores e ou acadêmicos apresentarem estudos para o poder estatal em que a viabilidade ecológica e econômica desse tipo de empreendimento, além de ambientalmente viável para ser aplicado em qualquer região do país, dentro de sua proporcionalidade.

Ao poder público, criar condições para empresas de processamento de pneus recebam subsídios para a instalação de usinas de asfalto em que o pneu em situação de descarte seja a matéria prima da produção, encontrando, desta forma, soluções ambientais e econômicas viáveis para a destinação desse produto que está presente aos montes em qualquer região do país.

Embora o asfalto borracha possa evidenciar um maior período de vida útil em relação ao asfalto convencional, não foram elencadas nesse trabalho informações sobre como é feita a manutenção de pavimentos executados com asfalto borracha e como pode ser disposto, ou recuperado, o material resultante da fresagem desse tipo de material, por esse motivo, sugere-se como subsídio para futuros trabalhos a manutenção de asfalto proveniente do derivado da borracha.

## 8. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT **NBR 7207:1882**: Terminologia e Classificação de Pavimentação. ABNT, 1982.

\_\_\_\_\_. **NBR 10004:2004** – Resíduos Sólidos - Classificação, Rio de Janeiro, 2007.

\_\_\_\_\_, ABNT. 1983. **NBR 7.170**. Tijolo maciço cerâmico para alvenaria. Rio de Janeiro, 1983.

\_\_\_\_\_. **NBR 15.112/2004**. Resíduos da construção civil e resíduos volumosos. Áreas de Transbordo e Triagem. Diretrizes para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro, 2004.

\_\_\_\_\_. **NBR 15.113/2004**. Resíduos sólidos da construção civil e resíduos inertes. Aterros. Diretrizes para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro, 2004.

\_\_\_\_\_. **NBR 15.114/2004**. Resíduos sólidos da construção civil. Áreas de Reciclagem. Diretrizes para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro, 2004.

\_\_\_\_\_. **NBR 15.115/2004**. Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil. Execução de camadas de pavimentação. Procedimentos. Rio de Janeiro, 2004.

\_\_\_\_\_. **NBR 15.116/2004**. Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil. Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural. Requisitos. Rio de Janeiro, 2004.

ANIP. **Vendas de pneus fecham o mês de agosto com queda de 0,4% em relação à 2019**. 2020. Disponível em: [https://www.anip.org.br/sitenovo/wp-content/uploads/2020/09/ANIP\\_infografico\\_AGO\\_2020.pdf](https://www.anip.org.br/sitenovo/wp-content/uploads/2020/09/ANIP_infografico_AGO_2020.pdf). Acesso em: 15 out. 2021.

AZEREDO, Hélio Alves. **O Edifício Até Sua Cobertura**. São Paulo: Edgard Blucher, 2009.

BERNUCCI, L.B. *et al.* **Pavimentação Asfáltica** – Formação básica para engenheiros, PETROBRAS, ABEDA, Rio de Janeiro, 2006.

BRASIL. Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes (DNIT). Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. **Manual de Pavimentação**, 3ª edição, Rio de Janeiro, 2006.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente (2002). **Resolução No 307**, de 5 de julho de 2002. Ministério das Cidades, Secretaria Nacional de Habitação. Publicada no Diário Oficial da União em 17/07/2002.

CHUNG, K. H.; HONG, Y. K. Weathering properties of elastic rubber concrete comprising waste tire solution, **Polymer Engineering and Science**, v. 49, n. 4, p. 794- 798, 2009.

D'ANTONA, D. M. G.; **Estudo de Misturas Asfálticas com Ligante Modificado por Polímero EVA e Resíduo da Construção Civil para as Vias Urbanas de Manaus.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Amazonas (UFAM). Manaus, 2019.

DI GIULIO, G. **Vantagens ambientais e econômicas no uso de borracha em asfalto.** Inovação Uniemp, Campinas, v. 3, n. 3, jun. 2007.

ELPHINSTONE, G. M., **Adhesion and cohesion in asphalt** – aggregate systems – Dissertation submitted to Texas A&M University in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy, 1997.

FIKSEL, J. et al. **Comparative life cycle assessment of beneficial applications for scrap tires.** Clean Technologies Environmental Policy, v. 13, n. 1, p. 19-35, 2011.

FONSECA, J.J.S. **Metodologia da pesquisa científica.** Fortaleza: UEC, 2002.

FRANQUET, P. F., **Adhesividad y activación, Carreteras** 103, Septiembre, 1999.

GOMES FILHO, C. V. **Levantamento do potencial de resíduos de borracha no Brasil e avaliação de sua utilização na indústria da construção civil.** 2007. 137f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia) – Instituto de Engenharia do Paraná, Curitiba, 2007.

HELENE, P.R.L.; ANDRADE, T. **Concreto de Cimento Portland.** In: ISAÍÁ, G.C. (Ed.). **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia dos Materiais.** São Paulo: **IBRACON**, 2007. 2v. 1712p.

LACÔRTE, P. M. R. **Aproveitamento de resíduos na construção civil.** Monografia (Especialização em Construção Civil) – Escola de Engenharia da UFMG, 2013.

LEITE, L.F.M. **Estudos De Preparo E Caracterização de Asfaltos Modificados Por Polímeros,** 2003. Tese (doutorado em ciência e tecnologia de polímeros) Instituto de macromoléculas, professora Eloisa Mano, UFRJ, 2003.

LEITE, J.C.A. **Asfalto Borracha modificado por polímero.** 2019. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2019.

MARTINS, Haroldo A.F. **A utilização da borracha de pneus na pavimentação asfáltica.** 2004. Trabalho (Conclusão de Curso) – Universidade Anhembi Morumbi, São Paulo-SP. 2004. Disponível em: <http://engenharia.anhembi.br/tcc-04/civil-14> . Acesso em: 09 out. 2021.

MELLONE, G.; SANTOS, M. R.; SHIBAO, F. Y. Pavimentação de rodovias com a utilização de resíduos de pneus insersíveis. **Revista Eletrônica Gestão e Serviços,** v. 3, n. 2, p. 489-408, jan./ jun., 2013.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais.** Ed. Pini, São Paulo, 1994.

MOREIRA, E. H.; CUNHA, N. B. J. (coord.). **Alternativas Para a Destinação de Resíduos da Construção Civil**. 2. ed. Belo Horizonte: Sinduscon, 2008. 84 p.

MORILHA JR., A.; GRECA, M. R. Considerações Relacionadas ao Asfalto Ecológico – Ecoflex. IEP, **Apostila sobre Asfalto Borracha**, Instituto de Engenharia do Paraná, 2003.

NUNES, M G C – **Dano Ambiental**: Poluição por Resíduos Sólidos, 2015, p23.

OLIVEIRA J. O e CASTRO R, 2019. **Estudo da destinação e Reciclagem de pneus inservíveis no Brasil**, 2019.

PINTO, S. **Materiais betuminosos**. 2010 IME. Disponível em: <[http://transportes.ime.eb.br/MATERIAL DE PESQUISA /LABOTATORIO /LAB LIGANTES /01\\_referencias.htm](http://transportes.ime.eb.br/MATERIAL%20DE%20PESQUISA/LABOTATORIO/LAB%20LIGANTES/01_referencias.htm)>. Acesso em 11 out. 2021.

PIVOTO, L. **Avaliação de Misturas Asfálticas com Incorporação de Borracha Reciclada de Pneus**. 115f. Dissertação de Mestrado. Rio Grande do Sul: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2015.

REDA TAHA, M. M. *et al.* Mechanical, fracture, and microstructural investigation of rubber concrete, *Journal of Materials in Civil Engineering*, v. 20, n. 10, p. 640-649, 2008.

SILVA, M.G. **Reciclagem de Cinza de Casca de Eucalipto e Entulho de Obra de Componentes de Construção**. In: *Reciclagem e Reutilização de Resíduos como Materiais de Construção Civil*. São Paulo, 1996. Anais... São Paulo: Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 1997. p. 99-105.

SILVA, H. M. R. D.; OLIVEIRA, J. R. M.; JESUS, C. M. G. Are totally recycled hot mix asphalts a sustainable alternative for a road paving? **Resources, Conservation and Recycling**. v. 60, p. 38-48, mar. 2012.

