



**FACULDADE REGIONAL DA BAHIA  
BACHARELADO EM ENGENHARIA  
CIVIL**

**ANNA BEATRIZ BARBOSA DE ARAGÃO SOARES**

**USO DE RESÍDUOS EM PAVIMENTAÇÃO RODOVIÁRIA**

Barreiras – BA  
2022

**ANNA BEATRIZ BARBOSA DE ARAGÃO SOARES**

## **USO DE RESÍDUOS EM PAVIMENTAÇÃO RODOVIÁRIA**

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

Professora de TCC II: Esp. Thays Cristina Lima da Silva

Professora Orientadora: Esp. Thays Cristina Lima da Silva

“Dai-me, Senhor, a perseverança das ondas do mar, que fazem de cada recuo um ponto de partida para um novo avanço”.  
(CECÍLIA MEIRELES).

## RESUMO

No Brasil, a construção de rodovias passa por diversas dificuldades devido ao baixo investimento público, a burocracia e o alto custo na execução das obras. Dessa forma, o conhecimento do estado funcional e estrutural das vias permite a intervenção nas suas características visando ampliação de sua vida útil, trazendo melhorias na malha rodoviária brasileira, de forma simples e reduzindo seus custos com as reconstruções. A utilização de elevados índices de materiais reciclados em misturas para pavimentos asfálticos reduz a disposição de materiais em aterros, como também a quantidade de novos agregados e de betume extraídos da natureza, sendo assim uma tecnologia eficaz. Assim objetivou-se estudar o estado do processo que utiliza resíduos em pavimentação rodoviária, dando enfoque aos métodos utilizados em cada tipo de resíduo, desempenho e suas principais características. Ao se pesquisar esse tema, além de avançar no fator ambiental, pôde-se desenvolver a questão econômica, que muitas vezes é um dos aspectos motivacionais muito mais apreciados pelos empresários do ramo da construção. A utilização desses resíduos é extremamente benéfica ao meio ambiente uma vez que esses materiais, geralmente, são descartados e dispostos de forma inadequada.

**Palavras-chave:** Eficácia, tecnologia, desenvolvimento civil.

## **ABSTRACT**

In Brazil, the construction of highways goes through several difficulties due to the low public investment, the obligation and the high cost in the execution of the works. In this way, knowledge of the functional and structural state of roads allows intervention in their characteristics, improving their useful life, bringing improvements to the Brazilian road network, in a simple way and guiding its customers with reconstructions. The use of high levels of recycled materials in mixtures for asphalt pavements reduces the disposal of materials in landfills, as well as the amount of new aggregates and bitumen extracted from nature, thus being an effective technology. Thus, the objective was to study the state of the process that uses residues in road paving, approaching the methods used in each type of residue, performance and its main characteristics. When researching this topic, in addition to advancing the environmental factor, it was possible to develop the economic issue, which is often one of the most appreciated motivational aspects by entrepreneurs in the construction industry. The use of these residues is extremely advantageous to the environment since these materials are usually discarded and recommended in a usual way.

**Keywords:** Effectiveness, technology, civil development.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b>	Como funciona o pavimento asfáltico.	11
<b>Figura 2</b>	Implementação do asfalto de borracha nos pavimentos.	15
<b>Figura 3</b>	Representação da economia circular.	16
<b>Figura 4</b>	Estrutura do pneu.	19
<b>Figura 5</b>	Raspas de pneus para produção de concreto.	19
<b>Figura 6</b>	Pó de pedra gerada pelo britamento de rochas em pedreiras	20
<b>Figura 7</b>	Garrafas pets na substituição da areia na concretagem.	22

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

**DNIT** – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes

**NBR** – Normativa Brasileira

**PNRS** – Política Nacional de Resíduos Sólidos

**RCD** – Resíduos da Construção Civil e Demolição

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	8
2. OBJETIVOS.....	9
2.1 Objetivo Geral .....	9
2.2 Objetivos Específicos.....	9
3. REFERENCIAL TEÓRICO.....	10
3.1 Determinação do Pavimento .....	10
3.2 Tipos de Pavimento .....	11
3.3 Problemas da Pavimentação .....	11
3.3 Resíduos Sólidos como um Problema Ambiental .....	11
3.4 Utilizações de Resíduos Sólidos no Pavimento Brasileiro .....	12
3.5 Alternativa de Redução da Poluição com a Reciclagem de Pneus.....	13
3.6 Utilização Internacional de Resíduos Sólidos na Pavimentação .....	14
3.7 Economia Circular .....	14
4. METODOLOGIA DA PESQUISA .....	16
5. DISCUSSÃO .....	17
5.1 Utilização de Resíduos na Recuperação de Pavimentos.....	17
5.1.1 Raspas de Pneus como Componente de Concreto .....	17
5.1.2 Pó de Pedra .....	19
5.1.3 Resíduos da Construção Civil e Demolição (DMC) .....	20
5.1.4 Uso de Resíduos Plásticos .....	21
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	22
REFERÊNCIAS .....	23

## 1. INTRODUÇÃO

No Brasil, a construção de rodovias passa por diversas dificuldades devido ao baixo investimento público, principalmente nos últimos anos, há a burocracia e o alto custo na execução das obras, além da alta taxa de deterioração das estradas em função do aumento da frota e o excesso de carga transportado dos caminhões, somados à falta de fiscalização (DNIT, 2018).

Dessa forma, o conhecimento do estado funcional e estrutural das vias permite a intervenção nas suas características visando ampliação de sua vida útil, possibilitando assim, melhorias na malha rodoviária brasileira, de forma simples, reduzindo seus custos com as reconstruções. Tendo como objetivo, determinar o grau de deterioração da via e garantir o conforto do usuário quanto ao rolamento e a condição da superfície (DA SILVA & PIMENTEL, 2021).

A utilização de elevados índices de materiais reciclados em misturas para pavimentos asfálticos reduz a disposição de materiais em aterros, enquanto também reduz a quantidade de novos agregados e de betume extraídos da natureza, sendo assim uma tecnologia eficaz, tanto ambientalmente quanto na redução do uso de energia, (BARTOLOZZI et al., 2012) e leva o setor industrial de construção de estradas às práticas de construções sustentáveis (HUANG; BIRD; HEIDRICH, 2007).

A incorporação do agregado reciclado no solo para uso em camadas de pavimentos tem demonstrado resultados significativos em várias pesquisas realizadas em vários grandes centros urbanos (SILVEIRA & BORGES, 2016). Em sua maioria, suas pesquisas para aplicação em camadas de pavimentos indicaram Índices de Suporte Califórnia (ISC) satisfatórios de acordo com a NBR 15115.

Justifica-se o estudo da utilização de resíduos na pavimentação rodoviária tendo em vista a necessidade crescente de utilizar melhor os recursos disponíveis. Portanto, ao se pesquisar esse tema, além de avançar no fator ambiental, pode-se desenvolver a questão econômica, que muitas vezes é um dos aspectos motivacionais muito mais apreciados pelos empresários do ramo da construção.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Estudar o estado do processo que utiliza resíduos em pavimentação rodoviária, dando enfoque aos métodos utilizados em cada tipo de resíduo, desempenho e suas principais características.

### **2.2 Objetivos Específicos**

Pesquisar principais tecnologias aplicadas atualmente para utilização de resíduos em pavimentação rodoviária;

Analisar as características dos materiais e comportamentos mecânicos de cada resíduo;

Avaliar o desempenho dos respectivos métodos aplicados.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

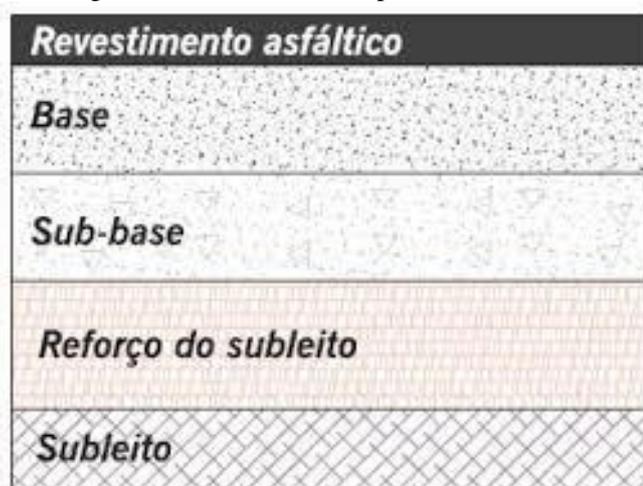
#### 3.1 Determinação do Pavimento

A pavimentação asfáltica é a principal forma de revestimento de vias de rodagem. O uso intensivo de asfalto gera poluentes para atmosfera ao longo dos processos de extração, da destilação do petróleo, da estocagem, do transporte, da mistura com agregados até sua aplicação. O asfalto é um resíduo de petróleo composto por uma mistura complexa de compostos alifáticos, aromáticos e heterocíclicos. Milhões de toneladas de asfalto são produzidas anualmente e utilizadas em indústrias de pavimentação (Piracelli, V. P., Amador, I. R., Sabino, F. C., Pinto, J. P., Silva Jr, C. R., & Solci, M. C. (2020)).

Pavimento é 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., 2006).

De acordo também com Bernucci et. al. (2006), "a avaliação funcional de um pavimento relaciona-se à apreciação da superfície dos pavimentos e como este estado influencia no conforto ao rolamento."

Figura 1 – Como funciona o pavimento asfáltico.



FONTE: GOOGLE IMAGENS

### **3.2 Tipos de Pavimentos**

O pavimento rígido é constituído, em sua camada de rolamento, por placas de concreto Portland, não armadas ou eventualmente com armadura sem função estrutural, que desempenham simultaneamente as funções de base e de revestimento. Diferente do flexível e do rígido, o semi-rígido é o meio termo entre esses dois tipos de pavimentos. Já os pavimentos flexíveis são aqueles mais utilizados nas rodovias brasileiras, principalmente devido ao seu custo de implantação, que quando comparada ao rígido é inferior. Esse pavimento é capaz de sofrer deformações, como flexão, compressão e torção, até um limite máximo de acordo com seus ligantes, sem apresentar qualquer tipo de patologia. Esses índices são determinados no dimensionamento, que consiste basicamente em determinar as espessuras de cada camada da infraestrutura desse tipo de pavimento (MEDEIROS, 2019).

### **3.3 Problemas da Pavimentação**

No município de Barreiras as patologias mais comuns são: fendas, afundamentos, desgaste e panelas (DNIT, 2005), tendo como origem uma má compactação do solo, fadiga e deformação permanente excessiva das camadas de base e sub-base. Conforme apontado por Bernucci et al. (2008). Diante disso, as pavimentações do município são constantemente reformadas, causando uma grande poluição ambiental.

Quando o asfalto é aquecido, há a geração de vapores. Com o resfriamento destes vapores, ocorre a condensação e formação de fumos provenientes predominantemente dos componentes mais voláteis do asfalto. Sendo assim, esses fumos possuem propriedades químicas e toxicológicas distintas do asfalto. Como os componentes dos vapores não são condensados instantaneamente, emissões poluentes para a atmosfera provenientes da aplicação do asfalto apresentam-se tanto na fase particulada como na fase gasosa (PIRACELLI et al., 2020).

### **3.3 Resíduos Sólidos como um Problema Ambiental**

As altas taxas de consumo e a crescente produção de resíduos estão entre os maiores problemas ambientais enfrentados pela humanidade. O problema se agrava com

a expansão e o adensamento dos aglomerados urbanos, já que a infraestrutura sanitária da maioria das cidades brasileiras não acompanha o ritmo acelerado desse crescimento (POLAZ & TEIXEIRA, 2009).

Além da infraestrutura ainda deficiente em aterros sanitários, um problema cada vez mais presente é a dificuldade de se achar locais adequados para sua construção, o que leva, especialmente em grandes centros urbanos, à elevação dos custos de transporte dos resíduos e ao aumento no consumo de recursos não renováveis (óleo diesel) e das emissões para o ar associadas ao transporte (QUEIROZ E GARCIA, 2010).

De acordo com, Siqueira e Moraes (2009), com atual estágio de desenvolvimento global, dos padrões de produção e de consumo, os problemas ambientais acumulam-se, o aquecimento global do planeta é fato e as já confirmadas mudanças climáticas registradas; a devastação das florestas, o buraco na camada de ozônio, o extermínio da biodiversidade, ainda pouco conhecida, a deterioração da qualidade do ar nas grandes cidades, o comprometimento dos fluxos de água, tanto em quantidade, quanto em qualidade, a fome e as doenças precoces.

A deposição de resíduos da construção civil está se tornando cada vez mais inviável devido o aumento nos custos de eliminação desses resíduos e o aumento com as preocupações ambientais. Portanto, a reciclagem desses resíduos é vista como uma opção viável para solucionar o problema da deposição dos resíduos, e como uma alternativa de preservar os recursos naturais, que são limitados (DE QUEIROZ & DE MELO, 2010).

### **3.4 Utilizações de Resíduos Sólidos no Pavimento Brasileiro**

No Brasil, o primeiro Projeto de Lei que tratou de resíduos sólidos foi o Projeto de Lei do Senado Federal nº 354/89, que aborda o acondicionamento, coleta, tratamento, transporte e destinação dos resíduos de serviços de saúde. Esse foi otimizado em 1991 e posteriormente, diferentemente da UE, não se deu continuidade ao desenvolvimento de legislação que trata dos resíduos (RECK, 2018). Somente no ano de 2010 foi aprovada a Lei nº 12.305, que deu prioridade ao projeto.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), recentemente instituída pela Lei nº. 12.305, de 02.08.2010, como um marco regulatório para a problemática dos resíduos sólidos, traz novas alternativas para a destinação adequada dos insumos, considerando o bem-estar social e, ao mesmo tempo, a sustentabilidade sob os pontos de

vista ambiental, social e econômico (SINNOTT, 2012).

Apesar disso, no Brasil, em 2013, cerca de 42% dos resíduos sólidos urbanos foram destinados de forma inadequada, em aterros controlados e lixões (ABRELPE, 2014).

Do total estimado de resíduos orgânicos coletados (94.335 t/dia), somente 1,6% (1.520 t/dia) são encaminhados para tratamento via compostagem. Pela PNSB/2008, apenas 211 municípios brasileiros têm unidades de compostagem, sendo que os estados de Minas Gerais e Rio Grande do Sul possuem a maior concentração, 78 e 66 unidades, respectivamente (MALTA, 2017).

### **3.5 Alternativa de Redução da Poluição com a Reciclagem de Pneus**

São produzidos mais de 70 milhões de pneus anualmente, somente no Brasil, onde grande parte são indevidamente descartados no meio ambiente (GÓMEZ-PABLO, 2017). Diante disso, é visto que não falta material para ser reciclado e agregado às pavimentações. A Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos – ANIP (2016) trouxe os dados de que 67.870,35 pneus foram fabricados no Brasil, destes, aproximadamente, 35 milhões foram descartados.

Com uma produção de 3,249 milhões de toneladas de asfalto no ano 2014, o Brasil se encontra na décima posição de produtores mundiais. Além disso, a produção do asfalto tem aumentando progressivamente até o ano 2014 (GÓMEZ-PABLO, 2017).

O uso do asfalto borracha é viável em todos os aspectos abordados, sendo eles ambientais, econômicos, técnico e financeiro. Do ponto de vista econômico, pode-se verificar que o asfalto borracha tem um custo de implantação superior ao asfalto convencional, mas se levada em consideração a suas características de redução do envelhecimento, aumento da flexibilidade, aumento do ponto de amolecimento e redução da susceptibilidade térmica, o asfalto borracha torna-se economicamente viável a longo prazo, pois seus custos com manutenção e reparo serão menores se comparados ao asfalto convencional (DA SILVA, PEREIRA, & PINHEIRO, 2021).

Figura 2 – Implementação do asfalto de borracha nos pavimentos.



FONTE: GOOGLE IMAGENS

### **3.6 Utilização Internacional de Resíduos Sólidos na Pavimentação**

A construção e manutenção de estradas do Reino Unido consomem grandes quantidades de agregados. O uso de materiais secundários (reciclados), em vez de primários (virgens), ajuda a aliviar as pressões do aterro e reduzir a demanda de extração (PINTO, 1991).

A Flórida tem uma meta de reciclagem de MSW (resíduos sólidos urbanos) que inclui detritos de C&D (construção e demolição). Os destroços de construção e demolição são responsáveis por quase 25% do fluxo total de MSW da Flórida. Uma ampla gama desses materiais pode ser recuperada e reutilizada ou reciclado em novos produtos (ROHDE, 2002).

Estima-se que a indústria alemã já substituiu cerca de 13% de suas licitações para compras de produtos secundários, ou seja, produzidos a partir de outros materiais que retornaram ao ciclo produtivo como matéria-prima. O manejo dos resíduos tem evoluído substancialmente no país desde os anos de 1970 (ISTUQUE, 2017).

Foi publicado em 1999 o Decreto-Lei n° 516/99 de 2 de dezembro que implanta o Plano Estratégico de Resíduos Industriais, com o intuito de integrar a caracterização dos resíduos industriais produzidos ou existentes em Portugal e assume como objetivos prioritários a sua redução, reutilização e reciclagem (RECK, 2018).

### **3.7 Economia Circular**

Uma alternativa viável é a economia circular, que procura acompanhar o desenvolvimento económico utilizando-se de formas sustentáveis, novas maneiras nos processos de fabricação diminuindo a necessidade de se utilizar matéria-prima (virgem), dando prioridade a insumos com maior vida útil, que sejam recicláveis e renováveis.

A Economia Circular implica no fim da sociedade do descarte. Significaria a renúncia do padrão “fazer, usar, descartar” como uma forma alternativa de organizar a produção, e a transição para a abordagem “reúso e reciclagem”. Uma definição breve de Economia Circular é “quando seus outputs se tornam seus inputs” (FOSTER, ROBERTO & IGARI, 2016).

A reciclagem de produtos não projetados a priori para este processamento na fase de pós uso resulta em reciclados de menor qualidade e valor em comparação aos produtos originais. A proposição da Economia Circular de projetos de berço a berço consiste em conceber produtos e sistemas industriais que sejam capazes de manter a qualidade e produtividade dos materiais em ciclos de vidas subsequentes (LEANDRO, 2005).

Figura 3 – Representação da economia circular.



FONTE: GOOGLE IMAGENS

#### **4 METODOLOGIA DA PESQUISA**

A pesquisa caracterizou-se como pesquisa bibliográfica e exploratória descritiva e qualitativa, apresentada por meio de análise de discurso e análise de conteúdo. A pesquisa bibliográfica é uma metodologia que utiliza materiais já publicados, principalmente compostos por livros, periódicos e atualmente disponíveis na Internet, para fornecer uma base científica para a pesquisa. Este método abordou os principais conceitos e definições de pavimentação de estradas e agregado reciclado, bem como contextualizou o uso de agregado reciclado na pavimentação (GIL, 2002).

No que diz respeito à metodologia, o projeto busca formas de explicar os resultados da pesquisa qualitativa que, segundo Mazzoti (2006, p. 650), o método qualitativo consiste em testar uma unidade específica, localizada em seu contexto, selecionada de acordo com critérios definidos e a partir de várias fontes de dados, o que sugere uma visão holística do fenômeno estudado.

## **5. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Este tópico visa apresentar as análises e os resultados obtidos com as pesquisas que foram realizadas no decorrer do trabalho. Além disso, surgiu como necessidade também expor resultados originalizados de outros estudos no intuito de contribuir com os julgamentos feitos a respeito do uso dos resíduos da construção civil classe A na pavimentação. Portanto, destacam-se aqui a apresentação e análise dos resultados que foram obtidos.

### **5.1 Utilização de Resíduos na Recuperação de Pavimentos**

Com o crescimento populacional, a construção civil consome recursos naturais na obtenção de suas matérias. Daí surge à discussão da conscientização quanto ao uso de materiais provenientes de resíduos de alguns materiais alternativos em base e sub-bases de pavimentos, em fase de análise e testes esses materiais em uso trariam como solução a redução dos impactos ambientais ocasionado do mal acumulo e má forma de descarte de diversos resíduos. Além de apresentar mudanças significativas do ponto de vista econômico (QUEIROZ, 2020).

Para Bernucci et al. (2008), as areias, os pedregulhos, as rochas e outros elementos artificiais são considerados agregados, geralmente são elementos inertes. Quando usados para criar camadas de subsolo e subleito, consistem em solo, cascalho, escória de alto-forno ou uma mistura desses materiais.

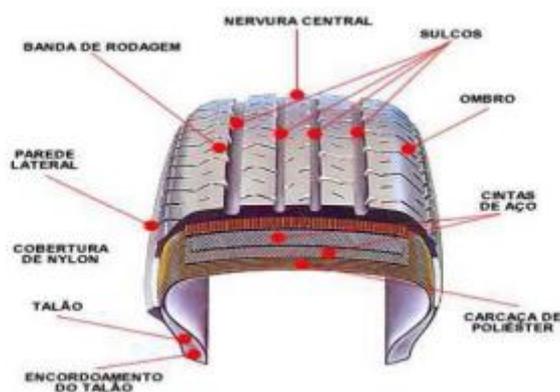
A composição dos resíduos de construção varia muito de local para local, dependendo da especificidade de cada região, cultura, técnicas de construção e matérias-primas disponíveis. No Brasil, a maior parte desses resíduos é composta por materiais inertes e recicláveis como argamassa, concreto, agregado de pedra e cerâmica (QUEIROZ, 2020).

#### **5.1.1 Raspas de Pneus como Componente de Concreto**

Dentre os estudos que abordaram o potencial de uso de raspas de borrachas de pneus como componentes do concreto. Freitas et al. (2017) avaliaram a consistência do concreto fresco determinada pelo abatimento do tronco de cone (slump test1 ), de acordo com a NBR 16889/2020. Estes autores também analisaram a resistência à compressão do concreto, contendo as proporções de 0, 10, 20, 40 e 80% de raspas de pneus inservíveis, para os períodos de cura de 3, 7 e 28 dias dos corpos de prova,

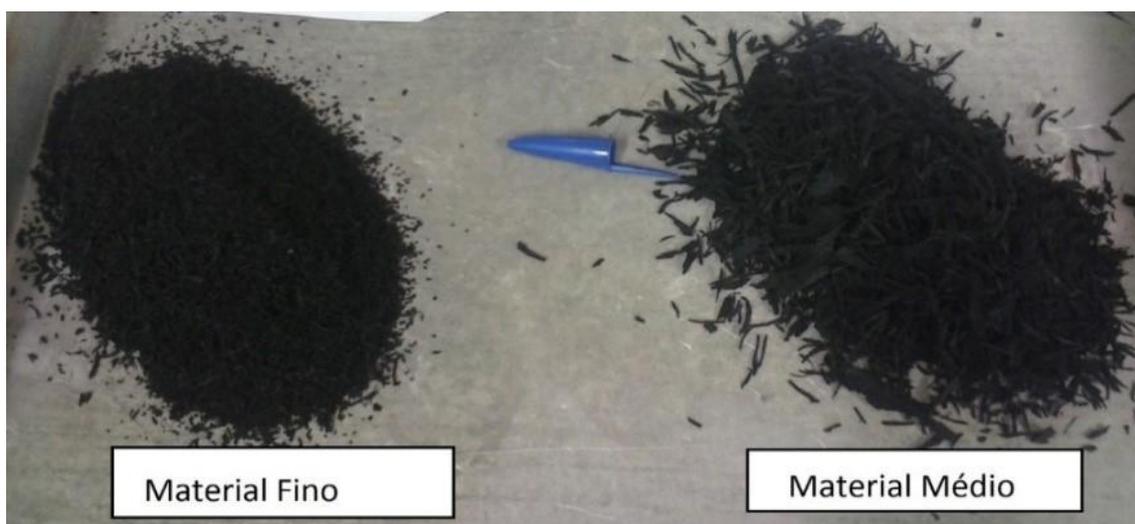
conforme NBR 5739/2018. A resistência à compressão do concreto diminuiu com o aumento da proporção de raspas de pneus, mas destacaram que a trabalhabilidade do concreto no estado fresco foi melhorada e atribuíram esse comportamento à propriedade da borracha de aumentar a flexibilidade do material. Embora o concreto se torne mais trabalhável com o aumento da proporção de raspas de pneus, se for aplicado em obras que demandam altos valores de resistência à compressão, pode vir a sofrer fissuras, rachaduras e comprometer a construção como um todo.

Figura 4 – Estrutura do pneu.



FONTE: BRAZIL TIRES (s/d)

Figura 5 – Raspas de pneus para produção de concreto.



FONTE: SANTOS (2006)

Freitas et al. (2017), verificaram que a resistência à compressão do concreto diminuiu com o aumento da proporção de raspas de pneus, mas destacaram que a trabalhabilidade do concreto no estado fresco foi melhorada e atribuíram esse comportamento à propriedade da borracha de aumentar a flexibilidade do material. Embora o concreto se torne mais trabalhável com o aumento da proporção de raspas de pneus, se for aplicado em obras que demandam altos valores de resistência à compressão, pode vir a sofrer fissuras, rachaduras e comprometer a construção como um todo.

### 5.1.2 Pó de Pedra

Para Adriolo (2005), O uso do pó de pedra como componente do concreto vem sendo estudado desde a década de 1980. No Brasil isso porque o principal agregado miúdo usado na fabricação da mistura, a areia natural, é retirada dos rios, na maioria dos casos trazendo impactos ambientais. O uso de pó de pedra como componente do concreto é uma excelente alternativa para substituir total ou parcialmente a areia natural.

Figura 6 - Pó de pedra gerada pelo britamento de rochas em pedreiras.



FONTE: GOOGLE IMAGENS

Menossi (2004) em seu trabalho, verificou-se que a resistência à compressão para o concreto contendo pó de pedra no traço 1:3,5 (25% de pó de pedra) foi maior que a do concreto contendo somente areia natural. No traço 1:6,5 a presença de pó de pedra em 75% não teve efeito significativo sobre a resistência do concreto, visto que o

resultado final para todas as idades foi inferior à resistência apresentada pelo concreto contendo areia natural. Sá (2006) também concluiu que o pó de pedra pode ser usado na produção de concreto, apresentando melhores resultados quando utilizado como complemento à areia a fim de aumentar a resistência do concreto à compressão.

### **5.1.3 Resíduos da Construção Civil e Demolição (RCD)**

O resíduo da construção civil corresponde a qualquer resíduo gerado no processo de construção, de reforma, de demolição ou escavação de uma obra. Com o desenvolvimento da construção civil gerado pelo processo de urbanização intenso das cidades, houve um aumento dos resíduos gerados e descartados de forma incorreta no ambiente. Na busca de soluções foram desenvolvidas pesquisas para avaliar técnicas de aproveitamento e destinação menos impactante para os resíduos da construção civil. O uso de agregados reciclados na confecção de concreto tem como principal objetivo reduzir o consumo de recursos naturais, como a areia e agregados derivados de rochas, que são utilizados em grandes volumes no setor de construção civil (GONÇALVEZ, 2011).

As classes de resíduos da construção civil e demolição, determinadas pela Resolução Conama no 307/2002 e suas complementares, classificam-se como: - Classe A: resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, como os de construção, demolição, reparos de pavimentação, reformas e outros; - Classe B: resíduos recicláveis para outras destinações como plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras, derivados de gesso, latas de tintas e outros; - Classe C: resíduos que ainda não foram encontrados métodos e tecnologias que permitam que passem pelo processo de reciclagem. - Classe D: resíduos considerados perigosos oriundos das construções como as tintas, solventes, óleos, etc, que dependendo da forma como é descartado (clandestinamente) pode causar diversos problemas, tanto de saúdes quanto ambientais, no local em que é descartado.

Os resíduos da construção civil e demolição de Classe A podem ser utilizados como agregados reciclados, substituindo em 50% o agregado natural na produção de concreto, aplicado em peças para drenagem superficial de estradas e em blocos de concreto sem função estrutural, com elevado potencial de uso como componente de concreto sem função estrutural ou que exija menor resistência à compressão (GUEDES, 2021).

A obtenção desse material é realizada por meio da britagem ou beneficiamento mecânico dos RDC e o transforma em material granular. Os materiais devem atender aos seguintes requisitos: não pode haver a presença de madeiras, vidros, plásticos, gessos, forros, tubulações, fiações elétricas e papéis ou quaisquer matérias orgânicas ou não inerentes, que pela Resolução CONAMA nº 307, se classificam como classe “B”, “C” e “D” (NBR 15115, 2004).

## 5.2 Resíduos Derivados de Plástico

Nos últimos anos alguns estudos concluíram que os resíduos plásticos também podem ser utilizados na produção do concreto em substituição parcial aos agregados. Resíduos de garrafas PET podem ser utilizados como painéis de modulação de paredes (Barth et al.,2004).

Almeida (2016) analisou o efeito da adição de resíduo de polietileno tereftalato - PET na confecção de concreto aplicado em piso intertravado de asfalto, substituindo o agregado miúdo por resíduos de PET nas proporções de 2,5; 5; 7,5 e 10%, nos traços (cimento:brita:areia): traço 1 = 1:1,5:1,5; traço 2 = 1:2:2 e traço 3 = 1:2,5:2,5; sendo a relação água/cimento para cada traço de 0,45; 0,50 e 0,55, respectivamente.

Para Guedes (2021), os resíduos de PET podem substituir a areia natural em até 10,0% na confecção de concreto com relação água/cimento de 0,45, que pode ser utilizado em obras sem função estrutural, como em pátios de indústrias e em asfaltos, em situações de elevado tráfego de pedestres, veículos leves e comerciais.

Figura 7 – Garrafas pets na substituição da areia na concretagem.



FONTE: GOOGLE IMAGENS

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Pode-se observar que a produção de resíduos acontece em grande escala e que há ampla dificuldade em reciclar tamanha quantidade de pneus. A questão ambiental atrelada a esse assunto é plenamente questionável e favorável ao tema. Com as novas resoluções do CONAMA, o destino para os pneus inservíveis é certo, diminuindo o impacto ambiental ao retirar milhares de unidades de pneus do meio ambiente, onde o descarte era normalmente feito em locais inapropriados.

O uso de agregado reciclado em camadas de pavimentação urbana tem sido uma das formas mais regulares de reaproveitamento. O uso desse material na pavimentação tem como vantagens o aproveitamento de quantidades significativas de material reciclado, de pequeno e grande porte, pois facilita os processos de pavimentação e a produção do agregado reciclado.

A utilização desses resíduos é extremamente benéfica ao meio ambiente uma vez que esses materiais, geralmente, são descartados e dispostos de forma inadequada. A grande exploração de jazidas naturais causa sua escassez por se tratar de uma fonte não renovável e finita. Grandes centros urbanos estão aumentando o custo de suas obras devido às grandes distâncias de transporte desse material até seu ponto de aplicação, aumentando o custo do transporte. A difusão de pesquisas nessa área, desperta à sociedade para estar sempre buscando tecnologias novas e cada vez mais ecológicas e sustentáveis.

## REFERÊNCIAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15114: Resíduos sólidos da construção civil – Áreas de reciclagem – Diretrizes para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

Abrelpe. (2008). Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2008. São Paulo: Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais.

ALMEIDA, S.P. Uso de politereftalato de etileno (PET) como agregado em peças de concreto para pavimento intertravado. 2016. Tese (Doutorado em Engenharia de Processos) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande – PB, 2016.

BARTH, F.; et al. Reciclagem de garrafas PET para a pré-fabricação de habitação de interesse social. In: CONGRESSO NACIONAL DE CONSTRUÇÃO, 2004, Porto. Atas [...]. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade de Porto, Portugal, 2004. Tema: Construção 2004: Repensar a Construção.

BARTOLOZZI, I. et al. The environmental impact assessment of asphalt rubber: an interesting application for end of life tires. In: THE ISWA WORLD SOLID WASTE CONGRESS. 2012. Florence, Italy. Proceeding. Florence, 2012.

BERNUCCI, Leidi Bariani et al. Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros. Rio de Janeiro: Petrobras: ABEDA, 2008.

DA SILVA, Jessé Bernardo; PEREIRA, Igor Nonato Almeida; PINHEIRO, Érika Cristina Nogueira Marques. Análise da viabilidade técnica da utilização de resíduos de borracha de pneus em pavimentos asfálticos Analysis of the technical feasibility of using waste tire rubber in asphalt sidewalks. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 11, p. 108529-108544, 2021.

DA SILVA, Julierme Siriano; PIMENTEL, Monique Gabriela Reis Farias. Uso de resíduos na pavimentação rodoviária. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 14, p. e310101422179-e310101422179, 2021.

DA SILVEIRA, Leonardo Ramos; DE ASSIS BORGES, Rafael. ANÁLISE DO USO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL COMO AGREGADO MIÚDO EM PAVIMENTAÇÃO. **REVISTA UNIARAGUAIA**, v. 9, n. 9, p. 112-122, 2016.

DE QUEIROZ, Bismak Oliveira; DE MELO, Ricardo Almeida. Redução de impactos ambientais causados por resíduos sólidos oriundos da construção civil pelo uso em pavimentação. In: **I Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental**.

DNIT-Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. (2005) "Manual de pavimentação", [http://www1.dnit.gov.br/arquivos\\_internet/ipr/ipr\\_new/manuais/ManualdePavimenta%20o\\_05.12.06.pdf](http://www1.dnit.gov.br/arquivos_internet/ipr/ipr_new/manuais/ManualdePavimenta%20o_05.12.06.pdf), Dezembro.

FOSTER, Allan; ROBERTO, Samanta Souza; IGARI, Alexandre Toshiro. Economia circular e resíduos sólidos: uma revisão sistemática sobre a eficiência ambiental e econômica. **Encontro internacional sobre gestão empresarial e meio ambiente, São Paulo, 2016**.

FREITAS, M. S. et al. Estudo de concreto não estrutural produzido com resíduo de recauchutagem de pneu. In: IBRACON - CONGRESSO BRASILEIRO DE CONCRETO, 2017, Bento Gonçalves - RS. Anais [...] Bento Gonçalves - RS: IBRACON, 2017.

Gil, A. C. (2002). Como elaborar projetos de pesquisa. 4, 175. Atlas. Alves-Mazzotti, A. J. (2006). Usos e abusos dos estudos de caso. Cadernos de pesquisa, 36, 637-651.

GÓMEZ-PABLO, Francisco Guerrero. Práticas sustentáveis nos pavimentos e sua possível aplicação no mercado brasileiro: Presente e futuro. **Monografia (Graduação em Engenharia Civil), Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2017**.

GONÇALVES, M. S. Análise da viabilidade técnica de utilização de resíduos de concreto oriundos da pré-fabricação como agregado para a produção de novos concretos. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade do Vale

do Rio dos Sinos, São Leopoldo - RS, 2011.

GUEDES, Pedro Henrique Fonseca. Análise da viabilidade técnica do uso de resíduos sólidos em concreto. 2021.

HUANG, Y.; BIRD, R. N.; HEIDRICH, O. A review of the use of recycled solid waste materials in asphalt pavements. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 52, n. 1, p. 58-73, 2007.

ISTUQUE, Danilo Bordan. Estudo da influência da cinza de lodo de esgoto como material não-convencional na produção de geopolímeros à base de metacaulim. 2017.

LEANDRO, Rodrigo Pires. Estudo Laboratorial Acerca da Possibilidade de Aproveitamento da Cinza Pesada de Termelétrica em Bases e Sub-Bases de Pavimentos Flexíveis. São Carlos 2005. 172p. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo.

MALTA, Tamize Machado. Compostagem domiciliar: uma alternativa para redução do descarte de resíduos orgânicos. 2017.

MEDEIROS, Uíslei Araújo de. Viabilidade do uso de resíduos de borracha na pavimentação asfáltica. 2019.

MENOSSE, R.T. Utilização do pó de pedra basáltica em substituição à areia natural do concreto. 2004. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira - SP, 2004.

PINTO, Salomão. Estudo do Comportamento à fadiga de Misturas Betuminosas e Aplicação na Avaliação Estrutural de Pavimentos. Rio de Janeiro, 1991. 489 p. Tese – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Coppe/UFRJ.

PIRACELLI, Victor P. et al. Emissões de poluentes atmosféricos em condições reais de pavimentação asfáltica: material particulado, black carbon e hidrocarbonetos policíclicos aromáticos. **Química Nova**, v. 43, p. 404-412, 2020.

Polaz, C. N. M., & Teixeira, B. A. D. N. (2009). Indicadores de sustentabilidade para a gestão municipal de resíduos sólidos urbanos: um estudo para São Carlos (SP). *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental*, 14(3), 411-420.

QUEIROZ, Guilherme de C.; GARCIA, Eloísa EC. Reciclagem de sacolas plásticas de polietileno em termos de inventário de ciclo de vida. *Polímeros*, v. 20, p. 401-405, 2010.

QUEIROZ, Maria Hermínia da Silva et al. Estudo da utilização de resíduos na recuperação de pavimentos rodoviários. 2020.

RECK, Maiz Inara. **Gestão de Resíduos de Construção-Estudo de Caso dos Indicadores de Obras em Bragança (Portugal) e Curitiba (Brasil)**. 2018. Tese de Doutorado. Instituto Politecnico de Braganca (Portugal).

ROHDE, Luciana. Escória de Aciaria Elétrica em Camadas Granulares de Pavimentos – Estudo Laboratorial. Porto Alegre, 2002. 118pg. Dissertação de Mestrado em Engenharia, Curso de PósGraduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

SÁ, M.V.V.A. Influência da substituição de areia natural por pó de pedra no comportamento mecânico, microestrutural e eletroquímico de concretos. 2006. Tese (Doutorado em Ciências e Engenharia de Materiais) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal - RN, 2006.

SINNOTT, Alice Pereira. A aplicabilidade da Lei Nº 12.305/10 sob o viés do princípio da responsabilidade compartilhada. **Artigo extraído de Trabalho de Conclusão de Curso. Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul**, 2012.

SIQUEIRA, Mônica Maria; MORAES, Maria Silvia de. Saúde coletiva, resíduos sólidos urbanos e os catadores de lixo. *Ciência & Saúde Coletiva*, v. 14, p. 2115-2122, 2009.

ANNA BEATRIZ BARBOSA DE ARAGÃO SOARES

## USO DE RESÍDUOS EM PAVIMENTAÇÃO RODOVIÁRIA

Trabalho de Conclusão de Curso, aprovado como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil da Faculdade UNIRB Barreiras.

Data da Aprovação: 19/12/2022

Banca Examinadora:

---

Prof. Esp. Thays Cristina Lima da Silva (Orientadora)

UNIRB- Faculdade UNIRB Barreiras

---

Prof. Me. Paulo Henrique de Souza Córrea

UNIRB- Faculdade UNIRB Barreiras

---

Prof. Esp. Weldon Bispo Silva

UNIRB- Faculdade UNIRB Barreiras