

Alternativas de destinação para pneus inservíveis

Disposal alternatives for unserviceable tires

Alternativas para la disposición de neumáticos inservibles

Luana Maria Moreira Godoy Bueno

Mestranda, UTFPR, Brasil.

luanabueno@alunos.utfpr.edu.br

Renan Meira Teles

Mestrando, UTFPR, Brasil.

renanteles.1996@alunos.utfpr.edu.br

Kátia Valéria Marques Cardoso Prates

Professora Doutora, UTFPR, Brasil.

kprates@utfpr.edu.br

RESUMO

A presente pesquisa aborda a temática da destinação adequada de pneus inservíveis, sendo estes pneus compostos por borrachas, negro de fumo, têxteis e aço. A problemática dos pneus inservíveis está diretamente relacionada a sua não-biodegradabilidade, sendo este, um resíduo que leva até seis séculos para se decompor. Diversos problemas ambientais, de saúde pública e econômicos são consequência do acúmulo inadequado deste resíduo. Sendo assim esta pesquisa tem como foco uma revisão bibliográfica sistemática que visa identificar as diversas maneiras de destinações ambientalmente adequadas para pneus inservíveis no Brasil e no mundo, sendo elas divididas em reutilização, reaproveitamento e reciclagem. Também foi pesquisado como é realizada a coleta destes pneus inservíveis no Brasil, a fim de entender quais as maiores dificuldades encontradas para levar este resíduo até locais onde este possa encontrar uma destinação adequada. Os pneus inservíveis têm potencial de se transformarem em matéria prima para confecção de artesanatos, incorporação em materiais de construção civil e até de serem utilizados como fonte alternativa de combustível na indústria cimenteira. Desta forma, a destinação adequada de pneus inservíveis é crucial para preservar recursos naturais e reduzir o acúmulo de resíduos evitando danos ambientais e a saúde pública. Na maioria dos casos os pneus inservíveis são reutilizados ou reciclados e na minoria dos casos reaproveitados.

PALAVRAS-CHAVE: Reciclagem, Reaproveitamento, Reutilização.

ABSTRACT

This research addresses the issue of the appropriate disposal of waste tires, these tires being composed of rubber, carbon black, textiles and steel. The problem with waste tires is directly related to their non-biodegradability, which is waste that takes up to six centuries to decompose. Several environmental, public health and economic problems are a consequence of the inadequate accumulation of this waste. Therefore, this research focuses on a systematic bibliographical review that aims to identify the different ways of environmentally appropriate disposal of waste tires in Brazil and around the world, divided into reprocess, reuse and recycling. It was also researched how these waste tires are collected in Brazil, in order to understand the biggest difficulties involved in taking this waste to places where it can find a suitable destination. Waste tires have the potential to be transformed into raw material for making handicrafts, incorporated into civil construction materials and even used as an alternative source of fuel in the cement industry. Therefore, the proper disposal of waste tires is crucial to preserve natural resources and reduce the accumulation of waste, avoiding environmental damage and public health. In the majority of cases, waste tires are reused or recycled and in the minority of cases they are reused. incorporation into civil construction materials and even being used as an alternative source of fuel in the cement industry. Therefore, the proper disposal of waste tires is crucial to preserve natural resources and reduce the accumulation of waste, avoiding environmental damage and public health. In the majority of cases, waste tires are reused or recycled and in the minority of cases they are reused.

KEYWORDS: Recycling, Reprocess, Reuse.

RESUMEN

La presente investigación aborda el tema de la disposición adecuada de los neumáticos fuera de uso, que están compuestos por caucho, negro de humo, textiles y acero. El problema de los neumáticos fuera de uso está directamente relacionado con su falta de biodegradabilidad, ya que estos residuos pueden tardar hasta seis siglos en descomponerse. Varios problemas ambientales, de salud pública y económicos son consecuencia de la acumulación inadecuada de estos residuos. Por lo tanto, esta investigación se enfoca en una revisión bibliográfica sistemática que tiene como objetivo identificar las diversas formas de disposición ambientalmente adecuadas para los neumáticos fuera de uso en Brasil y en el mundo, dividiéndolas en reutilización, reaprovechamiento y reciclaje. También se investigó cómo se realiza la recolección de estos neumáticos fuera de uso en Brasil, con el fin de comprender cuáles son las mayores dificultades encontradas para llevar estos residuos a lugares donde puedan recibir una disposición adecuada. Los neumáticos fuera de uso tiene el potencial de convertirse en materia prima para la fabricación de artesanías, su incorporación en materiales de construcción civil e incluso pueden ser utilizados como fuente alternativa de combustible en la industria cementera. De esta manera, la disposición adecuada de los neumáticos fuera de uso es crucial para preservar los recursos naturales y reducir la acumulación de residuos, evitando daños ambientales y la salud pública. En la mayoría de los casos, los neumáticos fuera de uso son reutilizados o reciclados, y en un número menor de casos, son reaprovechados.

PALABRAS CLAVE: Reciclaje, Reaprovechamiento, Reutilización.

1 INTRODUÇÃO

De acordo com a Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº. 416, de 30 de setembro de 2009, que dispõe sobre a prevenção à degradação ambiental causada por pneus inservíveis e sua destinação ambientalmente adequada, os pneus inservíveis são: “pneus usados que apresentem danos irreparáveis em sua estrutura não se prestando mais à rodagem ou à reforma” (BRASIL, 2009). Em geral, os pneus inservíveis são originários de motocicletas, automóveis e caminhões.

Conforme a Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos (ANIP), o pneu é fabricado por componentes variados, responsáveis pelo desempenho necessário para garantir todas as características exigidas por esse complexo produto. A proporção dos itens na composição do pneu varia, conforme a capacidade de carga requerida, a velocidade de emprego e, principalmente, de cada tipo de veículo e de aplicação. Nos pneus de automóveis de passeio, que rodam em estradas pavimentadas, a borracha sintética é mais empregada que a borracha natural. Nos pneus de caminhões de carga, utilizados em múltiplas estradas, prevalece o uso da borracha natural, por sua maior resistência aos cortes e lacerações (ANIP, 2023).

Os pneus são compostos de materiais diferentes, que incluem basicamente borrachas, as quais são chamadas de elastômeros com concentrações que variam de 45 a 47%. Além das borrachas tem-se o negro de fumo (21,5 a 22%); o têxtil que representa aproximadamente 11% da estrutura que compõe o pneu e metal ou arames que atuam como reforço estrutural (12 a 25%), que representa em torno de 8 kg do peso que constitui um pneu de veículo considerado leve (BUSS, 2021).

O pneu inservível é um dos resíduos sólidos de maior crescimento, devido ao aumento da população, levando a um rápido crescimento na indústria automotiva, sendo um problema mundial (CHEN *et al.*, 2022).

O maior problema quando se trata de resíduos sólidos de pneus inservíveis é que estes são materiais não biodegradáveis (levando 600 anos para se decompor) que se não destinados adequadamente, podem gerar diversos problemas ambientais, socioeconômicos e a saúde humana. O acúmulo destes pneus geralmente se dá em locais abertos e expostos a ação de intempéries, dentre eles a chuva, que gera um acúmulo de água dentro dos pneus, criando assim um ambiente propício para proliferação de mosquitos que por consequência proliferam doenças, desta forma a destinação incorreta de pneus também passa a ter um impacto para a saúde humana (SAUD, AHMED, MONCEF, 2020; KHERN *et al.*, 2020). Pneus deixados em ambientes abertos contaminam o solo e a água, pois lixiviam substâncias químicas e sua queima é um risco para o meio ambiente e a saúde humana (BUSS, 2021).

Por se tratar de um resíduo não biodegradável e pelo fato de que quase um bilhão de pneus se acumulam por ano no mundo, é evidente a necessidade de se encontrar alternativas de destinação deste material (SAUD; AHMED; MONCEF; 2020).

Preocupado com possíveis problemas de saúde ambiental e riscos de incêndios em locais de armazenamento de pneus inservíveis, o governo do Taiwan começou a incentivar e regulamentar a reciclagem de pneus inservíveis em 1980, mostrando para o restante do mundo como políticas regulatórias e subsidiárias podem ter impactos significativos neste aspecto (WEN *et al.*, 2016).

Muitos itens se tornam resíduos quando chegam ao seu fim de vida ou quando suas atribuições deixam de ser relevantes ou prioritárias, podendo ter muitas origens, mas tudo se direciona para uma classificação única, sendo que cada país tem sua particularidade, conforme legislações próprias. A ETRMA e a União Europeia são as precursoras de todas as normas e decisões a respeito da legislação pertinentes quanto à disposição final dos pneus inservíveis na Europa. No Brasil há uma combinação de leis e normativas que descrevem desde a produção de pneus, até o descarte final, com a descrição das responsabilidades de cada autor no processo que decorre os pneus. O Brasil também segue deliberações da ETRMA e da União Europeia, a *Ecopneus* da Itália e *Signus* da Espanha (BUSS, 2021). A norma NBR 10.004, 30 de novembro de 2004 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), classifica os pneus inservíveis na Classe II- não perigosos (BRASIL, 2010).

A Lei 12.305, 2 de agosto de 2010, institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), e determina, às responsabilidades dos geradores pelo ciclo de vida do produto, na qual a destinação de resíduos inclui a reutilização, a reciclagem, a compostagem, a recuperação e o aproveitamento energético ou outras destinações de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos (BRASIL, 2010).

O Programa Nacional de Coleta e Destinação de Pneus Inservíveis (RECICLANIP), implantado pela Associação Nacional das Indústrias de Pneumáticos (ANIP), é responsável por toda gestão da logística de retirada dos pneus inservíveis dos pontos de coleta no Brasil e pela destinação ambientalmente adequada em empresas licenciadas pelos órgãos ambientais competentes e homologados pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e de Recursos Naturais e Renováveis (IBAMA), em mais de 1.400 municípios, com uma abrangência geográfica superior aos 326 municípios com mais de 100 mil habitantes exigidos pela Resolução CONAMA nº. 416/2009 (BRASIL, 2009).

Com isso, nota-se um cenário no qual a gestão de pneus em fim de vida, como parte de uma política ambiental, possibilita novos meios e/ou métodos de reciclagem para contribuir com a diminuição da taxa mundial de material não reciclado de modo que, reduza os problemas ambientais e de saúde pública gerados por esses resíduos. Os pneus inservíveis devem ser considerados uma fonte de materiais e estruturas valiosos, que podem ser usados para produzir novos bens e produtos (BUSS, 2021).

Desta forma, a presente pesquisa teve como objetivo fazer uma revisão bibliográfica sistemática, com o intuito principal de obter informações em publicações da última década referentes às formas de reutilização, reaproveitamento e reciclagem deste resíduo.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Partindo dos objetivos supracitados, foi utilizada a metodologia de revisão bibliográfica sistemática, que é um instrumento para mapear trabalhos publicados em livros, artigos, trabalhos acadêmicos (teses, dissertações e monografias de Trabalho de Conclusão de Curso) entre outros, possui caráter exploratório, pois permite que o pesquisador seja capaz de elaborar uma síntese do conhecimento existente sobre o devido assunto (BIOLCHINI et al., 2007).

Para essa metodologia foram realizadas as seguintes etapas, conforme definidos por Kitchenham (2007), sendo i) Definição do tema de amostragem, ii) Escolha das bases de dados,

iii) Formulação das *Strings* de busca, iv) Busca na base de dados, v) Confecção do portfólio bruto de trabalhos, vi) Seleção dos trabalhos e, vii) Extração de dados.

Os temas de amostragem foram relacionados às alternativas de destinação de pneus: Reutilização, Reaproveitamento e Reciclagem.

Tendo em vista que o objetivo do trabalho se estabeleceu na exploração de artigos científicos e trabalhos acadêmicos, as buscas foram realizadas na base de dados do Google Acadêmico, a partir das *strings* de busca: “pneu” (ou no plural), “reaproveitamento de pneus”, “reciclagem de pneus”, “métodos de reciclagem de pneus”, e seus termos em inglês, sendo respectivamente “tire”, “reuse of tires”, “tire recycling” e “tire recycling methods”.

A partir da obtenção do portfólio bruto, foram aplicados os seguintes filtros de seleção:

- Trabalhos publicados entre 2010 e 2022. Este período foi escolhido devido aos 12 anos de aprovação da PNRS.
- Artigos científicos publicados em periódicos ou trabalhos acadêmicos

Depois da seleção, os trabalhos foram lidos na íntegra para extração dos dados a serem analisados.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após a leitura dos trabalhos pertinente a cada aspecto investigado, reutilização, reaproveitamento e reciclagem de pneus inservíveis, foram selecionados para análise aqueles que se destacaram pela contribuição. Dos trabalhos selecionados foram extraídos os dados relevantes, sendo 23,1% dos artigos relacionados à reaproveitamento e 76,9% abordando a temática reciclagem de pneus inservíveis.

3.1 Coleta e destinação de pneus inservíveis

Segundo a REICLANIP (2023), em 2018 foram coletadas e destinadas 458 mil toneladas de pneus inservíveis no Brasil e neste mesmo ano, de acordo com dados da *European Tyre & Rubber Manufactures Association* (ETRMA), o Brasil ficou à frente, em números absolutos, de países como França, Itália, Polônia, Turquia, Espanha, Suécia, Holanda, Portugal, Reino Unido e Alemanha.

As fabricantes brasileiras destinaram de forma ambientalmente correta em 2020 mais de 380 mil toneladas de pneus inservíveis. Em 2020, diariamente, cerca de 90 caminhões recolheram uma tonelada de pneus inservíveis dos pontos de coleta distribuídos no Brasil. De 1999 a 2020 foram recolhidos e destinados adequadamente mais de 5,6 milhões de toneladas de pneus inservíveis, o equivalente a 1,1 bilhão de pneus de passeio. O número de pneus descartados é mapeado pelo número de pneus vendidos para reposição (REICLANIP, 2023).

Os pontos de coleta são estabelecidos por meio de parcerias com empresas privadas e com as prefeituras, que cedem um espaço dentro das normas específicas de segurança e higiene. Este local é usado para alocar os pneus inservíveis, até que atinja o carregamento mínimo de 2000 pneus de automóvel ou 300 pneus de carga, vindo de origens diversas, como borracharias, revendedoras e dos próprios cidadãos, para então seguirem até seu destino final (REICLANIP, 2023).

Existem diversas formas de reciclar, reutilizar e/ou reaproveitar pneus inservíveis, sendo elas desde a destinação para processos industriais, incorporação química em outros

materiais, artesanatos, e a incorporação em processos da construção civil. No Brasil, os meios de descarte mais usuais são a deposição em lixões ou aterros, e os meios alternativos de destinação mais utilizados são a recuperação dos materiais pela produção de artefatos de borracha ou aproveitamento em materiais não poliméricos (asfalto, borracha, concreto, argamassa), reutilização em pisos de borrachas, drenagem de águas pluviais, recifes artificiais marinhos, flutuantes em portos, proteção nas estradas, utilização para geração de energia por meio da queima ou obtenção de óleos e gases, etc. (CARDOSO, 2015).

Na figura 1 pode-se visualizar o ciclo do pneu desde o momento da sua fabricação, manutenção até o reaproveitamento.



A reutilização de pneus inservíveis serve para prolongar a vida útil do pneu, portanto adiar a sua substituição por um pneu novo, antes que este se torne inservível e precise ser reaproveitado de outras maneiras que não na rodagem em veículos.

O reaproveitamento de um pneu inservível consiste em dar ao produto descartado uma nova finalidade mantendo sua forma original, ou fazendo pequenas alterações.

Reciclar um pneu inservível é transformá-lo em um novo produto por meio de um processo industrial que envolve a coleta, separação, limpeza, trituração e transformação dos materiais em novos produtos.

O IBAMA, por meio da Coordenação de Controle de Resíduos e Emissões, vinculada à Coordenação Geral de Gestão da Qualidade Ambiental da Diretoria de Qualidade Ambiental, é responsável pelo controle e fiscalização da implementação da Resolução CONAMA nº. 416, de

30 de setembro de 2009, que dispõe sobre a prevenção à degradação ambiental causada por pneus inservíveis e sua destinação ambientalmente adequada. A mesma, determina aos fabricantes e importadores de pneus novos, com peso unitário superior a dois quilos, coletar e destinar adequadamente os pneus inservíveis existentes no território nacional e estabelece a implementação de pontos de coleta de pneus inservíveis em todos os municípios com população superior a cem mil habitantes (BRASIL, 2009).

3.2 Reutilização

O pneu reutilizado tem a mesma finalidade em que foi projetado, ele passa por uma reforma em que sua carcaça é reutilizada, aumentando assim sua vida útil. Conforme o inciso IV do Art. 1º da Resolução CONAMA Nº 416/2009, os processos de reutilização são:

a) **recapagem**: processo pelo qual um pneu usado é reformado pela substituição de sua banda de rodagem, por uma nova borracha de pneu, prolongando a vida útil da carcaça do pneu usado.

b) **recauchutagem**: processo pelo qual um pneu usado é reformado pela substituição de sua banda de rodagem e dos ombros, aumentando a vida útil do pneu em 40% e economiza 80% de energia e matéria-prima em relação a produção de um novo.

c) **remoldagem**: processo pelo qual um pneu usado é reformado pela substituição de sua banda de rodagem, ombros e toda a superfície de suas laterais.

Pela análise da Figura 2 é possível entender a diferença entre cada tipo de reforma, a partir do detalhamento de cada parte do pneu, que é substituída em cada um dos procedimentos de reforma de pneus supracitados (recapagem, recauchutagem ou remoldagem).

Figura 2 – Descrição das partes do pneu

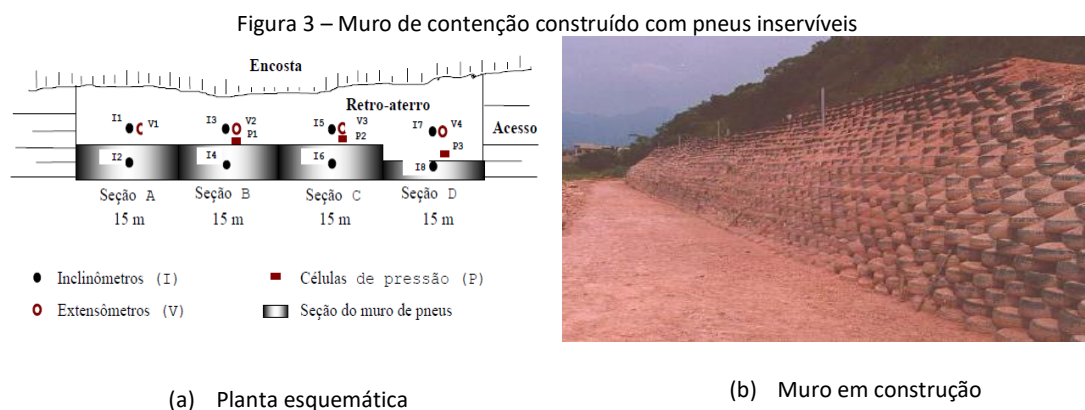


Fonte: Achei Pneus, 2023.

3.3 Reaproveitamento

O reaproveitamento de pneus inservíveis em artesanato, apesar de ser uma maneira de diminuir o impacto gerado por esse resíduo, é uma forma de destinação alternativa que utiliza uma quantidade muito pequena de pneus, fazendo assim, com que sejam necessários outros métodos de destinação que utilizem uma maior quantidade desse resíduo. Quando reaproveitados para artesanatos podem se transformar em mesas, cadeiras, poltronas, espelhos, balanços, vasos, pufes, aparadores, sofás e até mesmo pias de banheiro, entre outros (UCKER *et al.*, 2017).

Na Engenharia Civil, uma maneira muito eficaz de se reaproveitar pneus inservíveis é na utilização deste resíduo como material alternativo na construção de muros de contenção, como descreve Matos e Andrade (2022). Na Figura 3, tem-se um exemplo de construção de um muro de contenção experimental com 60m de comprimento e 4m de altura com camadas horizontais de pneus preenchidos com solo compactado, onde os pneus foram amarrados uns aos outros por cordas de polipropileno ou arames de gabião. Acima do retro aterro foi colocada uma camada de 2m de solo compactado, para gerar uma sobrecarga. O muro foi dividido em 4 seções diferenciadas entre si pela amarração, geometria e configuração dos pneus (cortados ou inteiros). Nas Figuras 3 “a” e “b” é possível visualizar como os pneus foram organizados no muro.



Fonte: Medeiros et al., 2000.

Após diversos ensaios de caracterização para obter os valores médios de densidade dos grãos (Gs), limites de Atterberg (LP e LL), índice de plasticidade (IP) e teor de umidade natural, é possível afirmar que “O reaproveitamento de pneus na construção de muros de contenção mostra-se como uma técnica eficaz. O estudo de caso evidenciou que a reutilização de pneus em obras de contenção de taludes é uma boa alternativa tecnicamente e economicamente viável quando se compara com técnicas convencionais de estabilização de encostas” (MATOS; ANDRADE, 2022).

No entanto, apesar de mostrar uma boa alternativa para o reaproveitamento de pneus inservíveis, acredita-se que esta seja uma solução pouco estudada, visto a dificuldade em encontrar outros autores discorrendo sobre tal temática.

3.4 Reciclagem

Os pneus inservíveis podem ser reciclados de diversas formas: co-processamento (fonte de combustível), laminação, artefatos de borracha e asfalto de borracha, conforme mostrado na Figura 4 onde são apresentados alguns exemplos de reciclagem de pneus inservíveis.

Figura 4 – Exemplos de reciclagem de pneus inservíveis (1- pisos de borracha para playground, 2- asfalto -borracha, 3- pistas de atletismo, 4- superfícies esportivas de grama sintética)



Fonte: Adaptado de ECOPNEUS (2023).

Cerca de 70% dos pneus inservíveis são utilizados como combustível alternativo em fornos de cimenteiras, em substituição ao coque de petróleo, devido ao seu alto poder calorífico (RECICLANIP, 2023).

Segundo ECOPNEUS (2023), a produção de energia a partir de pneus inservíveis é realizada principalmente em fábricas de cimento. Isso permite explorar melhor o alto poder calorífico da borracha, comparável ao do coque de petróleo. Suas altas temperaturas de queima garantem o cumprimento dos limites de emissão. Além disso, o uso deste processo permite recuperar cinzas e aço como materiais de resíduos de combustão. Eles são então incluídos no produto final, evitando assim o uso de outras matérias-primas virgens e também gerando um benefício ambiental e financeiro para as empresas e para a sociedade.

Algumas das características dos pneus inservíveis que fazem dele um material promissor para a produção de energia, conforme a ECOPNEUS (2023), são:

- Alto valor calórico;
- Substituem outros combustíveis mais ricos em componentes negativos, melhorando assim a qualidade das emissões das usinas;
- Na produção de cimento, aproveitamento funcional também do aço presente no pneu.

Segundo o Sindicato Nacional da Indústria do Cimento (SNIC), no Brasil existem 91 fábricas de cimento instaladas, sendo que 38 estão licenciadas pelos órgãos ambientais para co-processar resíduos (SNIC, 2016).

Cada quilograma de pneu libera entre 8,3 a 8,5 quilowatts por hora de energia. Esta energia é até 30% maior do que a contida em 1 kg de madeira ou carvão. As indústrias de papel e celulose e as fábricas de cal são grandes usuárias de pneus em caldeiras, usando a carcaça inteira e aproveitando alguns óxidos contidos nos metais dos pneus radiais.

Os pneus não-radiais são cortados em lâminas que servem para a fabricação de percintas (indústrias moveleiras), solas de calçados, dutos de águas pluviais etc;

A borracha retirada dos pneus inservíveis dá origem a diversos artefatos, entre os quais tapetes para automóveis, pisos industriais e pisos para quadras poliesportivas. Os pisos de borrachas trazem uma solução sustentável para os resíduos de pneus, são versáteis e podem ser utilizados tanto em ambientes internos como externos, pois suportam variações de temperatura e umidade. A instalação e a conservação do piso são simples, o que o torna ideal para lugares com grande fluxo de pessoas, como playgrounds, parquinhos e academias (AMET, 2023).

A borracha reciclada é um excelente material para a criação de parques infantis devido à sua resistência, o que também garante a sua longa duração no tempo. Eles podem ser feitos juntando tapetes pré-fabricados ou revestindo *in situ* uma mistura de grânulos de borracha coloridos com resinas de poliuretano para criar uma superfície única (ECOPNEUS, 2023).

Nas diferentes superfícies esportivas, a borracha reciclada é usada para fazer a camada de desempenho sob a superfície de jogo. As misturas utilizadas são projetadas para obter uma absorção de choque adequada e uma otimização do retorno da energia elástica. Por sua vez, este último dá uma resposta perfeita às necessidades biomecânicas do atleta. Também proporciona redução da fadiga muscular, redução de microtraumas e melhora do desempenho esportivo. As superfícies esportivas multifuncionais com borracha reciclada podem ser feitas “derretendo no local” uma mistura de grânulos de borracha e resinas de poliuretano ou montando tapetes pré-fabricados em borracha reciclada para formar uma única superfície. Em ambos os casos, uma resina acrílica colorida é então aplicada sobre a camada de borracha. Isso garante a aderência correta. As linhas de marcação para definir os campos/quadras são então aplicadas na resina colorida. São estas as tipologias de superfícies presentes, a título de exemplo, em escolas, em centros desportivos, para instalações indoor e outdoor, ou em ginásios, e são adequadas a quase todas as modalidades desportivas, desde o voleibol ao basquetebol, da ginástica à dança (ECOPNEUS, 2023).

A utilização de agregados feitos de resíduos de pneus é um método eficaz para realizar o desenvolvimento sustentável, a indústria da construção tem se comprometido com o desenvolvimento de recursos sustentáveis, apostando em inovações e usando materiais reciclados para agregados naturais limitados (TANG *et al.*, 2021).

A incorporação de agregados de borracha no concreto altera suas propriedades. Em geral, a densidade do concreto diminui com o aumento da quantidade de agregados de borracha, isso se deve ao seu baixo peso específico em comparação com os agregados naturais. Uma quantidade ideal de agregado de borracha pode ser usada sem alterar as propriedades do concreto. Porém, é viável a utilização de um maior volume de agregados de borracha no concreto para melhorar o isolamento acústico (KHERN *et al.*, 2020).

O uso de pó de borracha reciclada como aditivo em argamassa proporciona uma maior resistência à corrosão e diminui o calor de hidratação da mistura quando comparada às argamassas comuns (AHMED *et al.*, 2019).

A borracha granulada reciclada também pode ser utilizada como material de enchimento estrutural em sistemas de fundações para construções residenciais leves e de baixa altura. Sendo que quando utilizadas em tamanhos semelhantes ao de cascalhos em um teor menor ou igual a 40% apresenta resistência adequada, baixa compressibilidade e ótimas propriedades de absorção de energia (TASALLOTI *et al.*, 2021).

Ao adicionar pó de borracha ao betume asfáltico, é possível obter pavimentos rodoviários com melhores desempenhos mecânicos em relação ao betume convencional. As vantagens dos asfaltos modificados com pó de borracha reciclado conforme a ECOPNEUS (2023), são:

- Redução do ruído gerado pelo pneu em contato com a estrada;
- Elevada durabilidade do pavimento e excelente resistência ao envelhecimento, com experiências internacionais de tempos de vida até três vezes superiores aos do asfalto tradicional;
- Maior resistência da superfície a trincas. Isto conduz à consequente contenção das intervenções de manutenção, com a redução dos incômodos causados pelas obras de manutenção e respectivos custos;
- Maior segurança, devido à excelente aderência, escoamento da água com consequente redução perceptível do efeito de salpicos e borrifos em caso de chuva e melhoria da visibilidade (ECOPNEUS,2023).

A adição de pneus inservíveis triturados na mistura asfáltica pode não apenas melhorar vários desempenhos do asfalto, mas também fornece uma maneira ecológica de reciclar os resíduos de pneus (XIE *et al.*, 2023). De acordo com ROMANELLI (2019), na pavimentação de 1 km de rodovias com asfalto-borracha, a reutilização pode variar entre 600 a 1000 pneus. Segundo a ECOFLEX (2023), no Brasil em 2022, foi alcançada a marca de 16 mil quilômetros de asfalto-borracha.

A utilização de borracha de pneu reciclado em pavimentos asfálticos pode reduzir a deformação permanente destes pavimentos flexíveis, assim como aumentar a sua resistência ao sulco, diminuir a construção de pavimentos e os custos de manutenção, pois apresentam uma melhor resistência a fadiga (SAUD; AHMED; MONCEF; 2020).

Segundo YU *et.al* (2020), o uso de borracha de pneus inservíveis como modificador de asfalto além das características anteriormente citadas também reduz a temperatura da mistura asfáltica no processo da pavimentação, o que facilita sua execução.

4. CONCLUSÃO

A partir dos dados apresentados neste artigo é possível concluir que dar uma destinação adequada aos pneus inservíveis seja pela reutilização, reaproveitamento ou reciclagem tem uma relação importante com a aplicação da logística reversa para pneus, visto os danos que esse produto pode gerar para o meio ambiente e a saúde humana caso seja descartado de maneira incorreta, e também o potencial que o mesmo possui para ser utilizado de diversas outras maneiras e em diversos outros setores da economia além do automobilístico.

Os pneus após a sua vida útil podem e devem desempenhar outra função, pois são muito mais do que um resíduo não biodegradável que levará aproximadamente seiscentos anos para se decompor, os pneus são uma matéria prima muito rica em elasticidade por conter borracha em sua composição e podem agregar essa característica em concretos, argamassas e pavimentos flexíveis (pisos de borrachas), são um combustível com grande poder calorífico que podem ser utilizados por diversas indústrias poupando o uso de combustíveis naturais, também é um material versátil que pode ser reaproveitado de diversas maneiras sem precisar ser

triturado ou queimado, indo desde produtos artesanais como vasos e poltronas até a aplicação na construção civil servindo para conter encostas.

Destaca-se a importância de dar aos pneus uma nova destinação, a fim de poupar a utilização de outros recursos naturais finitos e diminuir a quantidade de um resíduo sólido que ocupa muito espaço em aterro, lixões, fundos de vale, e outros lugares.

5. REFERÊNCIAS

ALFAYEZ, Saud A.; SULEIMAN, Ahmed R.; NEHDI, Moncef L.. Recycling Tire Rubber in Asphalt Pavements: state of the art. *Sustainability*, [S.L.], v. 12, n. 21, p. 9076, 31 out. 2020. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/su12219076>.

AMET. Produtos. Disponível em: <http://ametpisos.com.br/>. Acesso em: 06 de maio 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Lei nº 10004, de 3 de maio de 2004. **Resíduos Sólidos – Classificação**. Brasil, 30 nov. 2004. p. 1-7

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA DE PNEUMÁTICOS. Fabricação do pneu: Disponível em: <https://www.anip.org.br/fabricacao/>. Acesso em: 03 de maio 2023.

BIOLCHINI, JORGE CALMON DE ALMEIDA *et al.* Scientific research ontology to support systematic review in software engineering. *Advanced Engineering Informatics*, v.21, n.2, p.133-151, 2007.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. - Resolução nº 416, 30 de setembro de 2009, IBAMA, Brasília (2009).

BRASIL. Lei nº 12305, de 2 de agosto de 2010. **Política Nacional de Resíduos Sólidos**. (2010).

BUSS, André Hekermann. RECICLAGEM DE PNEUS EM FIM DE VIDA VISANDO A FÁCIL TRANSFERÊNCIA DE TECNOLOGIA. 2021. 116 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Produção, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2021.

CARDOSO, Caroline de Souza. SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL ATRAVÉS DA RECICLAGEM DE PNEUS. 2015. 42 f. Monografia (Especialização) - Curso de Gestão Ambiental em Municípios, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2015.

CHEN, Rongjie *et al.* Hydrothermal Liquefaction of Scrap Tires: optimization of reaction conditions and recovery of high value-added products. *Frontiers In Energy Research*, [S.L.], v. 10, p. 1-10, 15 fev. 2022. Frontiers Media SA. <http://dx.doi.org/10.3389/fenrg.2022.841752>.

ECOFLEX. **Contabilidade ecológica do ECOFLEX**: quilômetros e consumo de pneus.. Quilômetros e consumo de pneus.. Disponível em: <https://www.grecaasfaltos.com.br/contabilidade-ecologica-asfalto-borracha/>. Acesso em: 31 ago. 2023.

ECOPNEUS. **MODIFIED ASPHALTS**. Disponível em: <https://www.ecopneus.it/en/>. Acesso em: 07 maio 2023.

KHERN, Yih Chen *et al.* Impact of Chemically Treated Waste Rubber Tire Aggregates on Mechanical, Durability and Thermal Properties of Concrete. *Frontiers In Materials*, [S.L.], v. 7, p. 1-11, 15 abr. 2020. Frontiers Media SA. <http://dx.doi.org/10.3389/fmats.2020.00090>.

KITCHENHAM, B. Guidelines for performing Systematic Literature Reviews in Software Engineering, Technical Report EBSE-2007-01, Department of Computer Science Keele University, Keele. 2007.

MATOS, Thaianne Oliveira de; ANDRADE, Guilherme Faria Souza Mussi de. REUSO DE PNEUS NA CONSTRUÇÃO DE MUROS DE GRAVIDADE. In: FARIAS, Helena Portes Sava de. **Educação, saúde e sociedade**: investigações, desafios e

perspectivas futuras. Rio de Janeiro: Epitaya, 2022. Cap. 12. p. 197-215. Disponível em: <https://portal.epitaya.com.br/index.php/ebooks/issue/view/60>. Acesso em: 24 jul. 2023.

MEDEIROS, Luciano V.; SAYÃO, Alberto S. F. J; GERSCOVICH, Denise M. S.; SIEIRA, Ana Cristina C. F.. REUSO DE PNEUS EM GEOTECNIA. **Seminário Nacional Sobre Reuso/Reciclagem de Resíduos Sólidos Industriais**. São Paulo, p. 1-19. nov. 2000.

PNEU REMOLD: O QUE É E O QUE VOCÊ PRECISA SABER SOBRE ELES. Disponível em: <https://www.blog.acheipneus.com.br/post/pneu-remold>. Acesso em: 25 jul. 2023

RECICLANIP. O Ciclo Sustentável do Pneu. Disponível em: <https://www.reciclanip.org.br/>. Acesso em: 03 de maio 2023.

ROMANELLI. **ASFALTO BORRACHA NA PAVIMENTAÇÃO DE RODOVIAS**. Disponível em: <https://www.romanelli.com.br/pt/noticias/asfalto-borracha-na-pavimentacao-de-rodovias>. Acesso em: 31 ago. 2023.

SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DO CIMENTO, 2016. **Coprocessoamento**. Disponível em: <http://snic.org.br/sustentabilidade-coprocessoamento.php>. Acesso em: 08 de maio, 2023.

TANG, Yunchao *et al.* Experimental and Theoretical Investigation on the Thermo-Mechanical Properties of Recycled Aggregate Concrete Containing Recycled Rubber. *Frontiers In Materials*, [S.L.], v. 8, p. 1-17, 5 abr. 2021. Frontiers Media SA. <http://dx.doi.org/10.3389/fmats.2021.655097>.

TASALLOTI, Ali; CHIARO, Gabriele; MURALI, Arjun; BANASIAK, Laura; PALERMO, Alessandro; GRANELLO, Gabriele. Recycling of End-of-Life Tires (ELTs) for Sustainable Geotechnical Applications: a new zealand perspective. **Applied Sciences**, [S.L.], v. 11, n. 17, p. 7824, 25 ago. 2021. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/app11177824>.

TSAI, Wen-Tien; CHEN, Chien-Cheng; LIN, Yu-Quan; HSIAO, Chen-Feng; TSAI, Chi-Hung; HSIEH, Ming-Hsien. Status of waste tires' recycling for material and energy resources in Taiwan. **Journal Of Material Cycles And Waste Management**, [S.L.], v. 19, n. 3, p. 1288-1294, 19 abr. 2016. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s10163-016-0500-5>.

UCKER, Fernando Ernesto *et al.* AVALIAÇÃO DA DESTINAÇÃO FINAL DE PNEUS NO MUNICÍPIO DE SENADOR CANEDO (GO. **Revista Eletrônica de Educação da Faculdade Araguaia**, Canedo, v. 11, n. 11, p. 284-293, 25 maio, 2017.

XIE, Juan *et al.* Preparation of terminal blend/ grafting activated crumb rubber composite modified asphalt based on response surface methodology. *Frontiers In Materials*, [S.L.], v. 10, p. 1-12, 3 maio, 2023. Frontiers Media SA. <http://dx.doi.org/10.3389/fmats.2023.1193225>.

YU, Hua-Yang; DENG, Guan-Sen; WANG, Duan-Yi; ZHANG, Ze-Yu; OESER, M.. Warm asphalt rubber: a sustainable way for waste tire rubber recycling. **Journal Of Central South University**, [S.L.], v. 27, n. 11, p. 3477-3498, 24 set. 2020. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s11771-020-4467-y>.