



ISSN: 2230-9926

Available online at <http://www.journalijdr.com>

IJDR

International Journal of Development Research

Vol. 12, Issue, 04, pp. 55374-55379, April, 2022

<https://doi.org/10.37118/ijdr.24375.04.2022>



RESEARCH ARTICLE

OPEN ACCESS

PNEU INSERVÍVEL: DE RESÍDUO A MATÉRIA-PRIMA SECUNDÁRIA PARA PROCESSOS INDUSTRIAIS CONFORME A LEGISLAÇÃO BRASILEIRA

Júlio Leite Pará¹ e Iracyanne Retto Uhlmann^{1,2}

¹Programa de Pós-graduação em Engenharia, Gestão de Processos, Sistemas e Ambiental, Instituto de Tecnologia e Educação Galileo da Amazônia (PPG.EGPSA/ITEGAM). Avenida Joaquim Nabuco, nº 1950 - Centro, Manaus - Amazonas, Brasil; ²Departamento de Graduação em Engenharia de Produção, Faculdade Martha Falcão (FMF). Rua Natal, 300 - Adrianópolis, Manaus - Amazonas, Brasil

ARTICLE INFO

Article History:

Received 20th January, 2022

Received in revised form

25th February, 2022

Accepted 16th March, 2022

Published online 27th April, 2022

Key Words:

Pneu inservível; Processos industriais; Política Nacional de Resíduos Sólidos; PNRS; Logística reversa.

*Corresponding author:

Júlio Leite Pará,

ABSTRACT

São crescentes os interesses, políticos, ambientais, econômicos e sociais para tratar de temas ambientais, incluindo o tratamento de resíduos sólidos, mais especificamente os pneus inservíveis. Muito tem sido discutido em conferências, periódicos científicos e outros meios, mas ainda há grande oportunidade para novas pesquisas e soluções. Este artigo buscar e conhecer o uso de resíduos de pneus inservíveis como matéria-prima secundária para processos industriais, de acordo com a legislação brasileira. Trata-se de uma revisão exploratória, ancorada na pesquisa bibliográfica e documental, fundamentada em artigos, publicações científicas relevantes e em documentos oficiais que tratam dos resíduos sólidos no Brasil, além de relatórios estatísticos de instituições, associações e empresas que tratam sobre o tema. Os resultados encontrados revelam que os pneus inservíveis têm sido usados como matéria-prima secundária em processos industriais, por meio de diferentes alternativas de destinação na industrialização de novos produtos, cujos processos industriais utilizam-se da trituração, reforma, granulação, regeneração da borracha ou desvulcanização, coprocessamento, laminação e pirólise; como é o caso de empresas de industrialização do xisto e das empresas que utilizam pneus inservíveis na confecção de artefatos de borracha, na construção civil e pavimentação asfáltica. O estudo conclui que a legislação brasileira, principalmente a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) por meio da logística reversa, possibilita o uso de resíduos de pneus inservíveis como matéria-prima secundária em processos industriais de outros produtos, contribuindo com a diminuição dos impactos negativos socioambientais e problemas de saúde pública causados pelo descarte inadequado desses resíduos.

Copyright © 2022, Júlio Leite Pará e Iracyanne Retto Uhlmann. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Citation: Júlio Leite Pará e Iracyanne Retto Uhlmann. "Pneu inservível: De resíduo a matéria-prima secundária para processos industriais conforme a legislação Brasileira", *international journal of development research*, 12, (04), 55374-55379.

INTRODUCTION

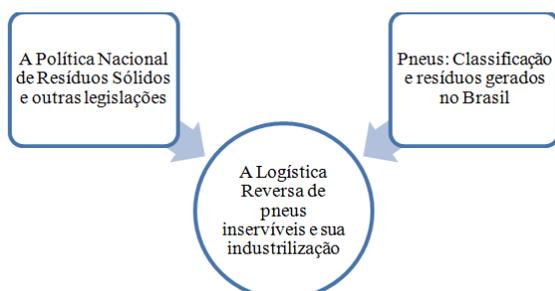
A poluição causada ao meio ambiente, após a utilização e o descarte de maneira inadequada em vias públicas ou nos lixos, contribui para a depreciação da imagem das indústrias fabricantes, por não direcionar corretamente o seu produto depois de ter atendido as necessidades do consumidor (Novaes, 2009). Assim, as intervenções das empresas em relação a seus processos produtivos e distribuição de seus produtos ao consumidor final e o cuidado com os resíduos gerados neste processo, é responsabilidade de seus fabricantes, ou seja, o produtor é responsável pelo seu produto até o final de sua vida útil. De acordo com Couto & Lange (2017) no mundo inteiro, os fabricantes e importadores têm aumentado sua preocupação em relação aos seus produtos após sua vida útil, incluindo suas embalagens. As empresas têm cada vez mais buscado entender e aplicar os conceitos da Logística Reversa (LR) nos processos industriais, sendo esta uma área da logística empresarial que planeja, opera e controla o fluxo e as informações logísticas correspondentes, do retorno dos bens de pós-venda e de pós-consumo ao ciclo de negócios ou ao ciclo produtivo,

por meio dos canais de distribuição reversos, agregando-lhes valor de diversas naturezas: econômico, ecológico, legal, logístico, de imagem corporativa, podendo gerar diversos benefícios que originam ganhos de competitividade e se refletem nas esferas econômica, social e ambiental (Hernandez, Marins & Castro, 2012; Leite, 2017). Nessa perspectiva, a Legislação Brasileira, principalmente a partir da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) por meio da logística reversa, tem apresentado um importante papel no combate ao descarte inadequado de resíduos. A PNRS é considerada um marco muito importante entre as legislações ambientais, pois proíbe o descarte de produtos no lixo comum, altamente agressivos ao meio ambiente, e institui a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos por meio da logística reversa. Esta política contém um Plano de Resíduos Sólidos, que contempla os mais diversos tipos de resíduos gerados, alternativas de gestão e gerenciamento que deverão ser implantados, compatibilizando as ações correspondentes ao crescimento econômico, além de apresentar metas, como a eliminação de lixões e locais considerados inadequados para disposição, aumento na reciclagem, reutilização e uso de tecnologias sustentáveis (Lavnitcki; Baum & Becegato, 2018).

Dentre os vários tipos de resíduos, destacamos os resíduos de pneus, pois estes estão entre os produtos mais consumidos em escala nacional e mundial, devido à grande quantidade de veículos automobilísticos. Entretanto, quando os pneus se tornam inservíveis e não são corretamente recolhidos, transportados e reutilizados, causam graves danos ao meio ambiente devido a sua lenta degradação, gerando problemas socioambientais e de saúde pública (Brunetto & Passos, 2015, p. 22). No cenário atual do mercado, a logística reversa tem sido usada por empresas de metalurgia, bebidas, artefatos de plásticos, vidros, pneumáticos, dentre outras, possibilitando que os resíduos desses produtos sejam utilizados como matéria-prima secundária nos processos industriais de outros componentes. No que concerne especificamente ao uso de pneus inservíveis, estes aparecem com diferentes alternativas de uso na industrialização de novos produtos, cujos processos industriais utilizam-se da trituração, reforma, granulação, regeneração da borracha ou desvulcanização, coprocessamento, laminação e pirólise, como é o caso de empresas de industrialização do xisto e das empresas que utilizam pneus inservíveis na confecção de artefatos de borracha, na construção civil e pavimentação asfáltica (Amorim, 2015). Visando contribuir para discussão acadêmica sobre esse tema, este artigo busca reconhecer o uso de resíduos de pneus inservíveis como matéria-prima secundária para processos industriais, de acordo com a legislação brasileira.

MATERIAIS E MÉTODOS

Este estudo é uma revisão exploratória, ancorada na pesquisa bibliográfica e documental, fundamentada em artigos, publicações científicas relevantes e em documentos oficiais que tratam sobre resíduos sólidos no Brasil, além de relatórios estatísticos de instituições, associações e empresas que tratam sobre o tema abordado. Lakatos & Marconi (2017) afirmam que a pesquisa bibliográfica abrange toda a bibliografia já publicada em relação ao tema de estudo, tendo como finalidade colocar o pesquisador em contato direto com tudo o que foi produzido. Esta pesquisa bibliográfica baseou-se em livros, artigos científicos, dissertações e teses produzidas sobre o tema em questão, possibilitando a construção do referencial teórico. A pesquisa documental baseia-se em documentos elaborados com finalidades diversas, como: documentos institucionais, formais, legais, didáticos, etc. (Lakatos & Marconi, 2017; Gil, 2019). Os documentos oficiais pesquisados foram as legislações que tratam dos resíduos sólidos no Brasil, como é o caso da Política Nacional de Resíduos Sólidos (LEI Nº 12.305, DE 2 DE AGOSTO DE 2010); das legislações de pneumáticos, como a RESOLUÇÃO Nº258, DE 26 DE AGOSTO DE 1999, que determina que as empresas fabricantes e as importadoras de pneumáticos sejam obrigadas a dar destinação final ambientalmente adequada aos pneus inservíveis; do “Relatório de Pneumáticos: Resolução Conama nº 416/092020 (ano-base 2019)” (IBAMA, 2020) do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), publicado em 2021; além de relatórios estatísticos da Associação Nacional de Indústria de Pneumáticos (Anip), da entidade gestora do sistema de Logística Reversa de pneus inservíveis no Brasil (ReciclANIP) e da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP).



Fonte: Autores (2022).

Figura 1. Fluxo de pesquisa

A Figura 1, ilustra o fluxo de pesquisa seguido para embasar esse estudo. Inicialmente, de forma exploratória, foram levantadas informações relevantes sobre a PNRS e outras legislações, para entender como a legislação brasileira trata sobre a destinação de resíduos sólidos. Em seguida, foram pesquisadas informações sobre a classificação de pneus, além do levantamento de alguns indicadores sobre o seu descarte pós-consumo. Finalmente, com base na combinação desses achados, foi apresentada a discussão sobre o uso de resíduos de pneus como matéria-prima secundária para outros processos industriais.

A política nacional de resíduos sólidos e outras legislações: O descarte dos resíduos sólidos acompanha o processo da evolução humana, da ciência, da tecnologia e dos modos de produção, no entanto as legislações ambientais e a gestão de resíduos sólidos encontram-se em estágios diferentes em cada país. No Brasil, o direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado vem sendo formulado desde a Constituição Federal de 1988: Art 225. Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações (Constituição Federativa do Brasil, 1988, p. 67). A gestão de resíduos sólidos no Brasil, como um conjunto de ações que integram comportamentos, procedimentos e propósitos, que objetivam a eliminação dos impactos ambientais negativos associados à produção e à destinação do lixo, ganhou força com a PNRS (Amorim, 2015).

De acordo com Nascimento & Borghetti (2018) a PNRS no Brasil surgiu no ano de 1989, com o Projeto de Lei do Senado Federal n. 354/89, que tratou diretamente em escala federal sobre a coleta, o tratamento, o transporte e a destinação final dos resíduos de serviços de saúde. Entretanto, somente em 2010, com a Lei nº12.305, de 2 de agosto é que foi instituída a Política Nacional de Resíduos Sólidos; que alterou a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998, e deu outras providências, como a implantação da gestão integrada de resíduos sólidos a partir da logística reversa, permitindo ampliar as responsabilidades do setor produtivo no processo de gestão dos resíduos sólidos, tendendo, inclusive, a possibilitar mais parcerias com os municípios, consumidores, comerciantes, distribuidores, importadores e fabricantes, para o reaproveitamento e reciclagem dos resíduos sólidos, para que estes tenham uma destinação ambientalmente adequada por meio da responsabilidade compartilhada, em que cada integrante da cadeia produtiva; bem como os órgãos governamentais, possuam funções específicas no manejo e controle adequado desses resíduos tratando de um regime solidário de complexas atribuições, em que embora as ações sejam individualizadas, em maior ou menor grau, todos participem do processo produtivo do produto. Entretanto, os mesmos autores, relatam que a PNRS vem recebendo críticas, sobretudo no que diz respeito a elencar as incumbências dos Estados, pois não é citada a questão da capacitação técnica dos municípios, deixando subentendido que é papel do Governo Federal. No Brasil informações encontradas no Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos (SINIR), do Ministério do Meio Ambiente, enfatizam que Logística Reversa estabelecida pela PNRS, introduzem a LR e o princípio da responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos (SINIR, 2021).

O Art. 9 da PNRS estabelece a hierarquia de manejo dos resíduos sólidos, disciplinando a sequência lógica de não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento e disposição final adequada dos rejeitos (Brasil, 2010). Quanto a efetivação da PNRS, o estudo de Lavnitcki; Baum & Becegato (2018) intitulado “Política Nacional dos Resíduos Sólidos: abordagem da problemática no Brasil e a situação na Região Sul” revela que a situação das metas e objetivos ainda são bastante distantes do que foi discutido e registrado na Lei 12.305/2010 durante esses mais de 20 anos de debate e construção, sendo que a evolução da gestão dos resíduos sólidos ainda é lenta e enfrenta barreiras para a sua aplicação. Dados do relatório da Associação Brasileira de Resíduos Especiais de Limpeza Pública (Abrelpe, 2021) mostram que o Brasil, durante o ano de 2020, com a influência da

pandemia de Covid-19, dada à nova dinâmica social, gerou aproximadamente 82,5 milhões de toneladas de resíduos sólidos, ou seja, 225.965 toneladas diárias; sendo a região Sudeste com cerca de 113 mil toneladas diárias, em torno de 50% do que é gerado em todo país; e a região Norte com aproximadamente 4% do total gerado, com cerca de 6 milhões de toneladas/ano e 328 kg/hab/ano. O estudo de Galvão, Brezan & Oliveira (2016) intitulado “A logística reversa aplicada na política nacional de resíduos sólidos na lei paulista dos resíduos tecnológicos em Pindamonhangaba-SP” reconhece a importância da logística reversa para minimizar os impactos dos resíduos sólidos no meio ambiente, porém enfatiza os desafios no cumprimento da PNRS. Entende-se que a PNRS é relevante para a implementação e estruturação do Sistema de Logística Reversa, entretanto as dificuldades para a sua efetivação ainda são desafiadoras para o poder público nos âmbitos federal, estadual e municipal, e para toda a sociedade. Porém, destaca-se a importância para a preservação do meio ambiente e preservação da saúde pública, uma vez que cumprir a regulamentação da destinação correta e descarte adequado dos resíduos ajudaria a resolver os problemas sociais, de saúde e relacionados ao meio ambiente (Galegale et al., 2020).

Adicionalmente, em relação a preocupação com a reutilização de resíduos, especificamente resíduos de pneus, destacam-se:

- Em 2020 foi aprovada a Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA/MMA Nº 499 DE 06/10/2020 que dispõe sobre o licenciamento da atividade de coprocessamento de resíduos em fornos rotativos de produção de clínquer em indústrias cimentárias brasileiras, farmacêutica e prestadoras dos serviços públicos de saneamento básico.
- Em 2021 foi aprovada a Portaria nº 433, de 15 de outubro de 2021 sobre o regulamento técnico da qualidade e os requisitos de avaliação da conformidade para reforma de pneus, incluindo os inservíveis, cujo objetivo consiste em estabelecer requisitos obrigatórios para reforma de pneus para automóveis, camionetas, caminhonetes, veículos comerciais, comerciais leves e seus rebocados, a serem atendidos por toda cadeia fornecedora do serviço no mercado nacional.

Essas legislações nacionais são fundamentais na destinação adequada dos pneus inservíveis, sua utilização licenciada em processos industriais e para o cumprimento da meta nacional, porém só são eficazes quando se aplica a logística reversa de pneus e a responsabilidade compartilhada das empresas e associações.

Pneus: classificação e resíduos gerados no Brasil: Segundo Lagarinhos (2011), há uma grande variedade de pneus, cuja vida útil varia de acordo com o tipo, conforme informações a seguir:

- Trator: 10 a 12 anos;
- Transbordo Canavieiro: 4 a 5 anos, dependendo do tamanho e do serviço prestado;
- Empilhadeiras: 4.000 a 5.000 horas;
- Automóveis: Até 80.000 km, mas podem ser reformados uma única vez;
- Ônibus e Caminhões: Até 200.000 km, mas podem ser reformados de duas a três vezes;
- Motos: 30.000 km;
- Aviões: 200 pousos e decolagens, dependendo da frequência de uso e quantidade de escalas;
- Agrícolas: 8.000 a 10.000 horas.

No que diz respeito à classificação dos pneus, o IBAMA (2021, p.11) por meio do Relatório de Pneumáticos: Resolução Conama nº 416/092020 (ano-base 2019), publicado em 2021, os define e os classifica em:

- **PNEU OU PNEUMÁTICO:** Componente de um sistema de rodagem, constituído de elastômeros, produtos têxteis, aço e outros materiais que, quando montado em uma roda de

veículo e contendo fluido(s) sobre pressão, transmite tração dada a sua aderência ao solo, sustenta elasticamente a carga do veículo e resiste à pressão provocada pela reação do solo;

- **PNEU NOVO:** Pneu, de qualquer origem, que não sofreu qualquer uso nem foi submetido a qualquer tipo de reforma e não apresenta sinais de envelhecimento nem deteriorações, classificado na posição 40.11 da Nomenclatura Comum do Mercosul (NCM);
- **PNEU USADO:** Pneu que foi submetido a qualquer tipo de uso e/ou desgaste, classificado na posição 40.12 da NCM, englobando os pneus reformados e os inservíveis;
- **PNEU INSERVÍVEL:** Pneu usado que apresenta danos irreparáveis em sua estrutura, não se prestando mais à rodagem ou à reforma.

Há muitas informações e indicadores disponíveis sobre os resíduos de pneus gerados no Brasil, dentre as quais, destacam-se os seguintes dados:

- Considerando as vendas totais, que incluem reposição (16%), vendas pelas montadoras (24%) e exportação (60%), foram vendidos entre 55 e 77 milhões de unidades de pneus por ano, entre os anos de 2006 e 2020, (ANIP, 2021);
- Os dados do Relatório de Pneumáticos: Resolução Conama nº 416/092020 (ano-base 2019), publicado em 2021, mostram que em 2019 a meta de destinação nacional era de 601.996,27 toneladas de pneus, porém a efetiva quantidade de pneus destinados para cumprimento da meta nacional foi de 585.391,08 toneladas, ou seja, 97,24% dos pneus inservíveis foram destinados corretamente, contra 2,76% sem destinação (IBAMA 2021);
- O percentual, no mercado de reposição, por unidade produzida ou importada revela que foi realizada a reposição de pneus novos para 71,59% pneus inservíveis destinados corretamente e para 28,41% sem destinação (IBAMA 2021).

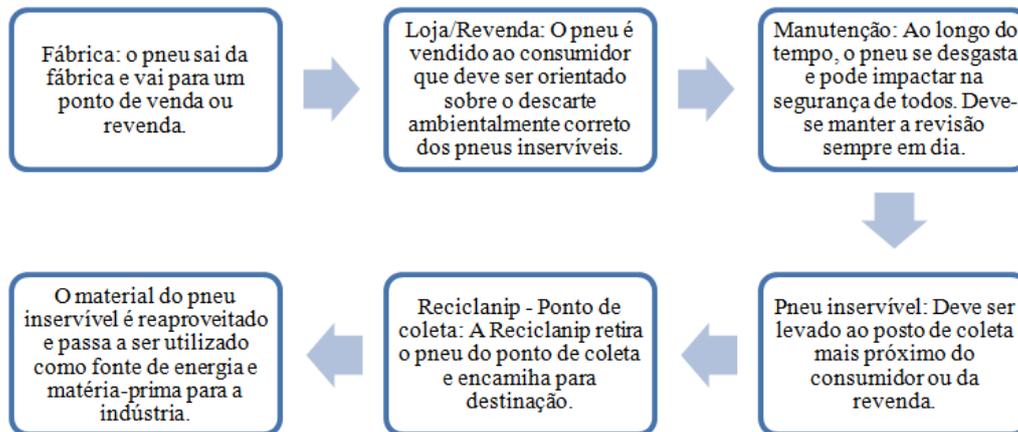
Apesar da meta de reposição nacional de 601.996,27 toneladas, o volume de produção de pneus continua crescendo a cada ano e os pneus descartados nem sempre passam pelo processo de logística reversa, entretanto há pontos de coletas que utilizam esses resíduos, separando àqueles que têm condições para voltar ao mercado através do processo de recauchutagem ou reforma, daqueles que não têm condições de recuperação (pneus inservíveis), os quais são encaminhados às empresas que trabalham diretamente com o reaproveitamento desse material em suas diferentes destinações.

A logística reversa de pneus inservíveis e sua industrialização: Atualmente as empresas estão cada vez mais buscando formas de otimização e reaproveitamento dos recursos disponíveis, visando à competitividade mercadológica (Vilela & Silva, 2019). Assim, cada empresa é voltada para uma logística reversa específica de acordo com a matéria-prima utilizada, como a logística reversa do pneu, que tem como grande desafio a mudança do conceito de resíduo para matéria-prima secundária, como por exemplo: combustível alternativo para indústria de cimento, resíduos triturados para o coprocessamento com a rocha de xisto pirobetuminoso e queima em caldeiras na indústria de papel, entre outras, tornando a cadeia da reciclagem de pneus um negócio autossustentável. Os estudos de Floriani, Furlanetto & Sehnem (2016) mostram que os pneus inservíveis coletados no Brasil recebem vários destinos e seu ciclo de vida apresenta etapas claras e definidas, delineando as responsabilidades de toda a cadeia produtiva, como segue:

- **Fábrica:** Responsável direto por toda a cadeia de suprimento do produto, inclusive sua logística reversa;
- **Loja:** Trabalha de forma integrada, como elo para fechamento do ciclo e correta destinação;
- **Reforma:** Oportuniza uma extensão da vida útil do pneu, com a recapagem e inserção deste novo agente ao processo;
- **Trituração:** Trituração dos compostos de borracha para posterior reutilização como matéria-prima reciclada;

- Coprocessamento: Aproveitamento do material triturado e transformação em novos produtos;
- Destinação: Pode ser efetuada a partir do material triturado ou coprocessado, envolve a reutilização do produto de forma ambientalmente adequada.
- Artefatos de borracha: A borracha retirada dos pneus inservíveis dá origem a diversos artefatos, entre os quais tapetes para automóveis, pisos industriais e pisos para quadras poliesportivas;
- Asfalto-borracha: Adição à massa asfáltica de pó de borracha oriundo da trituração de pneus inservíveis. O asfalto-borracha tem uma vida útil maior, além de gerar um nível de ruído menor e oferecer maior segurança aos usuários das rodovias;
- Laminação: Nesse processo, os pneus não-radiais são cortados em lâminas que servem para a fabricação de percintas

Pode-se observar que ao final do processo, os pneus inservíveis podem retornar ao mercado de diferentes formas, sendo coprocessados, ou receber outra destinação também adequada, evitando maiores danos ao meio ambiente.



Fonte: Adaptada da Reciclanip (2022a).

Figura 2. Ciclo de pneus inservíveis

Quadro 1. Tecnologias para destinação de pneus inservíveis.

| Destinação | Descrição |
|--|--|
| Trituração | Os processos mais utilizados para a trituração de pneus são à temperatura ambiente ou com resfriamento criogênico, sendo que o primeiro predomina no Brasil. O processo de trituração à temperatura ambiente pode operar até 120°C, reduzindo os pneus inservíveis a partículas de até 0,2 mm. Basicamente, os pneus passam pelo triturador e pelo granulador. O aço é removido em um separador magnético de correias cruzadas e as frações de nylon, rayon e poliéster, são removidas pelos coletores de pó. O pó de borracha é separado através de um sistema de roscas e peneiras vibratórias em várias granulometrias (p. 49). |
| Reforma | Os pneus usados que ainda não são considerados inservíveis, podem passar por processo de reforma e voltar para o mercado, para desempenhar sua atividade fim. A reforma de pneus pode acontecer de três formas: recapagem, recauchutagem e remoldagem (p. 50). |
| Utilização na construção civil | A reutilização do pneu como agregado do concreto pode assumir um papel importante na preservação do meio ambiente, pois, além de diminuir a extração de recursos naturais como a areia e a brita, também pode diminuir o acúmulo desses resíduos nas áreas urbanas (p. 50). |
| Pavimentação asfáltica | É uma solução ambientalmente adequada desde que o uso dos resíduos de pneus proporcione uma redução, ainda que parcial, da necessidade de outras matérias-primas e melhore a performance e a durabilidade dos pavimentos em que o pó de borracha é inserido na composição (p. 51). |
| Desvulcanização | A desvulcanização é um processo de decomposição que permite a reciclagem da borracha dos pneus inservíveis, com o objetivo de obter um produto com propriedades similares às da borracha virgem, para retornar ao ciclo produtivo (p. 52). |
| Pirólise | A pirólise consiste na quebra de cadeias químicas orgânicas por aquecimento, por meio da degradação térmica pela ausência de oxigênio. Com referência à pirólise de pneus, é um processo normalmente realizado a temperaturas que variam de 250°C a 600°C, visando transformar pneus pela utilização de seus elementos químicos em outros produtos, como o gás e o óleo. O óleo é utilizado na indústria química em substituição ao petróleo (p. 52). |
| Industrialização do xisto | O processo Petrosix foi desenvolvido pela Petrobrás para a retortagem da rocha do xisto, por meio da pirólise a 480°C (p. 53). |
| Laminação | O processo de laminação consiste em diversas operações de cortes efetuadas em pneus inservíveis, para extrair lâminas e trechos de contornos definidos. As empresas que trabalham com o processo de laminação de pneus possuem estrutura de coleta de pneus convencionais ou diagonais. Estes pneus não possuem, em sua construção, as malhas de aço, o que facilita a sua reciclagem (p. 54). |
| Coprocessamento em indústrias de cimento | Neste processo o pneu inservível é picado mecanicamente e adicionado ao clínquer, matéria-prima do cimento, a uma temperatura de 1200°C. O melhor método para queimar os pneus sem que ocorra problema com a fumaça negra e poluente é o coprocessamento, ou seja, a queima dos resíduos em fornos de cimento como fonte de energia e as cinzas resultantes são incorporadas ao cimento e ficam encapsuladas em concentrações aceitáveis (p. 54). |

Fonte: Construído a partir de Amorim (2015).

De acordo com a Reciclanip (2022b), os pneus inservíveis recebem pelo menos quatro diferentes destinações no Brasil, como segue:

- Coprocessamento: Pelo seu alto poder calorífico, cerca de 70% dos pneus inservíveis são utilizados como combustível alternativo em fornos de cimenteiras, em substituição ao coque de petróleo;

(indústrias moveleiras), solas de calçados, dutos de águas pluviais, etc.

Adicionalmente, os estudos de Amorim (2015) apontam pelo menos nove tecnologias para destinação de pneus inservíveis no país. O Quadro 1 descreve essas tecnologias:

CONCLUSÕES

Este estudo reconheceu o uso de pneus inservíveis como matéria-prima secundária para processos industriais, de acordo com a legislação brasileira. A revisão exploratória por meio de pesquisa bibliográfica e documental levou a perceber que a legislação brasileira, principalmente a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), sugere o uso da logística reversa na reciclagem, reaproveitamento, tratamento e disposição final adequada de resíduos sólidos, incluindo pneumáticos no país. A análise documental e de literatura mostrou que no Brasil, a Logística Reversa estabelecida pela PNRS deve ser executada por meio do princípio da responsabilidade compartilhada, pelo ciclo de vida dos produtos entre estados, empresas e municípios, possibilitando diferentes formas de destinação de pneus inservíveis nos processos industriais de empresas metalúrgicas, de bebidas, artefatos de plásticos, vidros, pneumáticos, dentre outras, permitindo que os resíduos desses produtos sejam utilizados como matéria-prima secundária nos processos industriais de outros componentes. A análise dos relatórios estatísticos de instituições, associações e empresas, revelaram que o Brasil, em suas diferentes regiões, produz toneladas de resíduos sólidos anualmente, incluído pneus inservíveis, que vem recebendo destinações adequadas embora nem sempre atingindo a meta nacional. Os resultados evidenciam que os pneus inservíveis têm sido usados como matéria-prima secundária em processos industriais, por meio de diferentes alternativas de destinação na industrialização de novos produtos, cujos processos industriais utilizam-se da trituração, reforma, granulação, regeneração da borracha ou desvulcanização, coprocessamento, laminação e pirólise; como é o caso de empresas de industrialização do xisto e das empresas que utilizam pneus inservíveis na confecção de artefatos de borracha, na construção civil e pavimentação asfáltica. Dessa forma, a logística reversa de pneus destaca-se como potencial contribuidor para a diminuição dos impactos negativos socioambientais e problemas de saúde pública causados pelo descarte inadequado de pneus inservíveis no meio ambiente, por meio do uso desses resíduos como matéria-prima secundária para processos industriais. Finalmente, recomenda-se a continuidade de pesquisas experimentais e práticas que investiguem os diversos usos de resíduos de pneu como matéria-prima secundária para processos industriais.

Agradecimentos: Ao Instituto de Tecnologia e Educação Galileo da Amazônia (ITEGAM) pelo apoio a esta pesquisa e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia, Gestão de Processos, Sistemas e Ambiental (PPGEPSA).

REFERÊNCIAS

ABRELPE (2021). Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais ABRELPE. Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil-2021. São Paulo.

Amorim, E. S (2015). Logística reversa de pneus inservíveis: uma pesquisa-ação no município de Três Corações (MG). Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Itajubá. Itajubá.

Anip (2021). Associação Nacional das Indústrias de Pneumáticos - "Produção na Indústria Brasileira e Reciclagem de Pneus", ANIP, São Paulo Disponível em: <<http://www.anip.com.br>>. Acesso em: 19 dez. 2021.

Brasil (1988). Senado federal. Constituição Federal. Brasília (DF).

Brasil (1999). Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução Nº 258, de 26 de agosto de 1999. IBAMA, Brasília. Disponível em <https://www.ibama.gov.br/component/legislacao/?view=legislacao&legislacao=103725>. Acesso em: 19 dez. 2021

Brasil (2009). Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução Nº 416, 30 de setembro de 2009, IBAMA, Brasília Disponível

em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/>. Acesso em: 10 out. 20.

Brasil (2010). Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Brasília: Presidência da República Casa Civil Subchefia para assuntos jurídicos. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm. Acesso em 04 de set. 2021.

Brasil (2020). Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução Nº 499 DE 06/10/2020. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/>. Acesso em: 20mar. 2022.

Brasil (2021). Ministério da Economia/Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. PORTARIA Nº 433, DE 15 DE OUTUBRO DE 2021. Aprova o Regulamento Técnico da Qualidade e os Requisitos de Avaliação da Conformidade para Reforma de Pneus - Consolidado. DIÁRIO OFICIAL DA UNIÃO. Publicado em:22/10/2021|Edição:200|Seção: 1|Página: 38. Órgão: Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-n-433-de-15-de-outubro-de-2021-353973483>. Acesso em: 18 de mar. 2022.

Brunetto, A., & Passos, M. G. (2015). Logística reversa de pneus inservíveis: Estudo de caso no município de Xanxerê-Sc. Latin American Journal of Business Management,6(3).

Couto, M. C. L., & Lange, L. C. (2017). Análise dos sistemas de logística reversa no Brasil. Engenharia Sanitária e Ambiental,22, 889-898.

Floriani, M., Furlanetto, V., & Sehnem, S. (2016). Descarte sustentável de pneus inservíveis. Navus - Revista de Gestão e Tecnologia, 6(2), 37-51. doi:<https://doi.org/10.22279/navus.2016.v6n2.p37-51.347>

Galegale, NV et al (2020). Logística reversa de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos: proposta de uma plataforma multilateral de negócios. Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento, 9(2), e154922199-e154922199.

Galvão, H. M., Brenzan, R., & de Oliveira, L. M. (2016). A logística reversa aplicada na política nacional de resíduos sólidos e na lei estadual paulista do resíduo tecnológico em Pindamonhangaba-SP. Diálogo, (33), 141-169.

Gil, A. C (2019). Métodos e técnicas de pesquisa social. 7. ed. - São Paulo: Atlas.

Hernandez, C.T; Marins, F. A. S & Castro, R.C (2012). Modelo de gerenciamento da logística reversa. Gest. Prod. 19 (3). 2012. doi:<https://doi.org/10.1590/S0104-530X2012000300001>.

Ibama (2021). Instituto brasileiro do meio ambiente e dos recursos naturais renováveis. Relatório de pneumáticos: resolução Conama nº 416/09: 2020 (anobase 2019). Brasília: Ibama, 2021. 87 p. Disponível em: http://ibama.gov.br/phocadownload/pneus/relatoriopneumaticos/2021-03-03-%20ibama-relatorio_pneumaticos_2020_completo_com_capa_terceira_versao.pdf. Acesso em: 13 de out. 2021.

Lagarinhos, C. A. F. (2011).Reciclagem de pneus: análise do impacto da legislação ambiental através da logística reversa (Doctoraldissertation, Universidade de São Paulo).

Lakatos, E. M; Marconi, M de A (2017). Fundamentos de metodologia científica. – 8. ed. – São Paulo: Atlas.

Lavnitcki, L., Baum, C. A., &Becegado, V. A. (2018). Política Nacional dos Resíduos Sólidos: abordagem da problemática no Brasil e a situação na região sul. Ambiente & Educação,23(3), 379-401.

Leite, P. R (2017). Logística reversa: sustentabilidade e competitividade. 3. ed. Saraiva.

Nascimento, C. R. G do & Borghetti, J.R (2018).Logística reversa de resíduos sólidos. Departamento Regional do Paraná.

- Curitiba: Senai, 2018. 90 p.: 21 cm. ISBN: 978-85-5520-031-1.
- Novaes, A. G (2009). Logística e Gerenciamento da Cadeia de Distribuição. 3.ed. Editora GEN Atlas.
- ReciclANIP (2022a). Entidade gestora do sistema de Logística Reversa de pneus inservíveis no Brasil. Ciclo do pneu. Disponível em: <https://www.reciclanip.org.br/formas-de-destinacao/ciclo-do-pneu/>Acesso em: 8 jan. 2022.
- ReciclANIP (2022b). Entidade gestora do sistema de Logística Reversa de pneus inservíveis no Brasil Formas de destinação de pneus inservíveis. Disponível em: <https://www.reciclanip.org.br/formas-de-destinacao/principais-destinacoes/>. Acesso em: 8 jan. 2022.
- SINIR (2021). Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos – SINIR. Ciclo da logística reversa. Disponível em: <https://sinir.gov.br/index.php/component/content/article/2-uncategorised/123-pneus-inserviveis>. Acesso em: 15 dez. 2021.
- Villela, G. O. M., & Silva, F. B. (2019). A logística reversa de pneus. *Revista Vianna Sapiens*,10(1), 17-17.
