



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CARIRI
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO REGIONAL
SUSTENTÁVEL

VITÓRIA DE MORAES MÁXIMO

**A GESTÃO AMBIENTAL DOS RESÍDUOS DE PNEUS NO CONTEXTO DA
ECONOMIA CIRCULAR**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

CRATO – CEARÁ
2022

VITÓRIA DE MORAES MÁXIMO

**A GESTÃO AMBIENTAL DOS RESÍDUOS DE PNEUS NO CONTEXTO DA
ECONOMIA CIRCULAR**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Desenvolvimento Regional Sustentável, da Universidade Federal do Cariri - UFCA, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de mestre em Desenvolvimento Regional Sustentável.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Jeniffer de Nade

Coorientador: Prof.^o Dr Diego Coelho do Nascimento

Linha de Pesquisa: Meio Ambiente. Qualidade dos sistemas aquáticos e controle da poluição.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação.
Universidade Federal do Cariri.
Sistema de Bibliotecas

- M464g Máximo, Vitória de Moraes.
A gestão ambiental dos resíduos de pneus no contexto da economia circular / Vitória de Moraes Máximo. – 2022.
88 f.: il. color.30 cm
- Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Cariri, Mestrado em Desenvolvimento Regional Sustentável (PRODER), Crato, 2022.
- Orientação: Profa. Dra. Jeniffer de Nadae.
Coorientação: Prof. Dr Diego Coelho do Nascimento.
1. Resíduos de pneus - gerenciamento. 2. Economia Circular. 3. Logística Reversa. 4. Sustentabilidade. I. Título.

CDD 658.7

Bibliotecária: Glacínésia Leal Mendonça
CRB 3/ 925

VITÓRIA DE MORAES MÁXIMO

**A GESTÃO AMBIENTAL DOS RESÍDUOS DE PNEUS NO CONTEXTO DA
ECONOMIA CIRCULAR**

Dissertação apresentada como requisito
ao título de mestre do Programa de Pós-
Graduação *Stricto Sensu* em
Desenvolvimento Regional Sustentável
da Universidade Federal do Cariri –
UFCA.

Área de Concentração: Desenvolvimento Regional Sustentável.
Linha de Pesquisa: Meio Ambiente.

Aprovada em: 28 / 04 / 2022

BANCA EXAMINADORA



Documento assinado digitalmente
JENIFFER DE NADAE
Data: 17/05/2022 11:15:29-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Prof.^a Dr.^a Jeniffer de Nadae
Orientadora. Universidade Federal do Cariri (UFCA)

Prof. Dr. Diego Coelho do Nascimento
Coorientador. Universidade Federal do Cariri (UFCA)

Prof. Dr. Marcelo Martins de Moura-Fé
Examinador Interno. UFCA/URCA

Prof. Dr. Rafael Pazeto Alvarenga
Examinador Externo. Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS)

Dedico essa dissertação a minha família.

AGRADECIMENTOS

A Deus, a espiritualidade bem feitora, a Nossa Senhora e a todos aqueles a quem clamo por saúde, coragem e força em todos os momentos da vida.

A minha família, pai Antonio, mãe Francisca, e irmão Paulo José. Sempre amorosos, compreensíveis e apoiadores das minhas escolhas. Muito obrigada por tudo!

Ao meu amado esposo Marcus Vinicius, pelo incentivo e companheirismo. Por quem torço e almejo sucesso na vida, na pesquisa científica e como profissional.

A minha filha Cecília, que me tornou mãe e fez aflorar minha melhor versão! Desde que nasceu tornou-se companheira de muitas horas, enriquecendo meus dias com seu amor e iluminando minha vida. Pra você todo meu amor, acolhimento, orientação e dedicação, te amo “ao infinito e além”!

À minha orientadora, professora Dra. Jeniffer de Nadae, pela orientação, competência, ensinamentos, paciência e motivação. Parabéns pelo profissionalismo e dedicação! E ao professor Dr. Diego Coelho do Nascimento pela coorientação.

Aos membros da banca examinadora, professor Dr. Marcelo Moura-Fé e Dr. Rafael Pazeto Alvarenga, pelas contribuições, sugestões e motivação durante a qualificação.

Ao PRODER, pela oportunidade e vivências. Ao corpo docente do PRODER, pelos ensinamentos, leituras e discussões. Aos colegas da turma PRODER-2019, pelas trocas de conhecimento e incentivo.

Aos demais amigos e familiares pela companhia e incentivo.

Tudo é importante na vida. Os pequenos atos são preparatórios dos
gestos grandiosos e das realizações vultosas.

(Joanna de Ângelis)

RESUMO

No Brasil, a gestão dos resíduos de pneus é baseada na *Extended Producer Responsibility (EPR)*, atribuindo aos produtores e importadores a responsabilidade pela destinação correta dos mesmos. Pelas legislações brasileiras a responsabilidade é compartilhada também entre os municípios, usuários e demais *stakeholders* envolvidos na Logística Reversa (LR) do material. Assim, os resíduos de pneus são direcionados para sistemas de tratamento, transformando-os em matéria-prima reprocessada ou encaminhando-os para aproveitamento energético, caracterizando a circularidade econômica do material. Diante exposto, essa dissertação aborda como o gerenciamento dos resíduos de pneus se insere em um contexto de Economia Circular (EC), com o objetivo de contribuir com o gerenciamento de resíduos pneumáticos desenvolvido em todo o território brasileiro. Para tanto, através de pesquisa bibliográfica e análise documental, primeiramente elaborou-se um inventário do quantitativo de resíduos de pneus que já foram destinados corretamente numa estratificação nacional e estadual, apresentando a legislação usual e o método de gestão empregado a tais resíduos. Num segundo momento, realizou-se pesquisa exploratória, bibliográfica e documental elaborando estudo de caso que descreve a gestão dos resíduos de pneus executada a nível municipal e local na região metropolitana do Cariri Cearense. Por fim, foi realizada ainda uma revisão sistemática da literatura e análise de dados secundários, para conhecer as tecnologias de tratamento aplicadas a resíduos de pneus descritas na literatura, e as ações sustentáveis executadas pelas empresas fabricantes de pneus instaladas em território nacional. Como resultado entende-se que o resíduo de pneu deve ser tratado seguindo a hierarquia dos 12R's (Redesenhar, Renovar, Recusar, Reduzir, Revender/Reutilizar, Reparar, Recondicionar, Remanufaturar, Reaproveitar, Reciclar, Recuperar e Retirar), no entanto a pesquisa indica que a reciclagem e a reutilização são opções de tratamento priorizados. O estudo aponta que a EC para os resíduos de pneus é amplamente defendida e promotora da sustentabilidade, resultando em benefícios como: fonte de matéria-prima reprocessada; minimiza impactos negativos; gera emprego e renda; valoriza economicamente produtos sustentáveis; promove conscientização social, a qualidade do meio natural; fomenta a responsabilidade compartilhada; promove a execução de uma gestão integrada e participativa; desacelera e fecha os ciclos produtivos; e maximiza a utilidade funcional de materiais e energia.

Palavras-chave: Resíduos de pneus. Gerenciamento de resíduos de pneus. Economia Circular; Logística Reversa; Sustentabilidade.

ABSTRACT

In Brazil, waste tire management is based on the Extended Producer Responsibility (EPR), giving producers and importers the responsibility for their correct disposal. Under Brazilian legislation, responsibility is also shared between municipalities, users and other stakeholders involved in the Reverse Logistics (LR) of the material. Thus, waste tires are directed to treatment systems, transforming them into reprocessed raw material or forwarding them to energy use, characterizing the economic circularity of the material. Given the above, this dissertation addresses how the management of waste tires is inserted in a context of Circular Economy (CE), with the objective of contributing to the management of pneumatic waste developed throughout the Brazilian territory. Therefore, through bibliographic research and document analysis, an inventory of the quantity of waste tires that have already been correctly disposed of in a national and state stratification was first elaborated, presenting the usual legislation and the management method used for such waste. In a second moment, exploratory, bibliographical and documentary research was carried out, elaborating a case study that describes the management of waste tires performed at the municipal and local level in the metropolitan region of Cariri Cearense. Finally, a systematic review of the literature and analysis of secondary data were carried out, in order to know the treatment technologies applied to waste tires described in the literature, and the sustainable actions carried out by tire manufacturing companies installed in the national territory. As a result, it is understood that tire waste must be treated following the hierarchy of the 12R's (Redesign, Renew, Refuse, Reduce, Resell/Reuse, Repair, Recondition, Remanufacture, Reuse, Recycle, Recover and Remove), however the research indicates that recycling and reuse are prioritized treatment options. The study points out that EC for waste tires is widely defended and promotes sustainability, resulting in benefits such as: source of reprocessed raw material; minimizes negative impacts; generates employment and income; economically values sustainable products; promotes social awareness, the quality of the natural environment; encourages shared responsibility; promotes the implementation of an integrated and participatory management; slows down and closes production cycles; and maximizes the functional utility of materials and energy.

Keywords: Tire waste. Tire waste management. Circular Economy; Reverse Logistic; Sustainability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa de localização do espaço amostral.....	52
Figura 2 - Foto da fachada do ECOPONTO para entrega voluntária de resíduos pneumáticos no município de Juazeiro do Norte-CE	53
Figura 3 - Fluxograma resumo da integração entre a Economia Circular e a Sustentabilidade nas formas principais de tratamento R's para os resíduos de pneus.....	68
Figura 4 - Ações R's de sustentabilidade e economia circular listadas na literatura e/ou executadas pelas empresas fabricantes de pneus novos no Brasil.....	75

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Gráfico de barras ilustrando o quantitativo aproximado de resíduos de pneus destinados corretamente no Brasil no período de 2001 a 2020	18
Gráfico 2 - Somatório do quantitativo de resíduos pneumáticos destinados corretamente por cada região brasileira (out. 2009 – dez. 2019).....	32
Gráfico 3 - Gráfico de barras indicativas do quantitativo total de resíduos pneumáticos destinados (2010 - 2019).	37
Gráfico 4 - Publicações por ano conforme base de dados da literatura.....	71

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Quantitativos referentes aos saldos de destinação ambientalmente adequada para os resíduos pneumáticos de cada estado brasileiro (2010-2019).	33
Tabela 2 - Tecnologia de destinação final e quantidade total de pneus inservíveis destinados corretamente nos anos de 2010 até 2019.	35
Tabela 3 - Principais canais de venda de pneus novos de acordo com a ANIP	50
Tabela 4 - Quantitativos referentes aos saldos de destinação ambientalmente adequada para os resíduos pneumáticos gerados a nível municipal em Juazeiro do Norte-CE.....	54

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Síntese da estrutura da dissertação.	21
Quadro 2 - Hierarquia dos caminhos preferenciais em 12R's para tratamento de resíduo de pneus.	68
Quadro 3 – Tecnologias de tratamento de resíduo de pneus citadas na literatura para os R's de tratamento de resíduos de pneus mais utilizadas.	72
Quadro 4 - Principais informações e ações sustentáveis e impulsionadoras da EC executadas pelas empresas fabricantes de pneus.	73

LISTA DE SIGLAS

ABIDIP	Associação Brasileira de Importadores e Distribuidores de Pneus
ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
AMAJU	Autarquia Municipal de Meio Ambiente
ANIP	Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos
CO ₂	Dióxido de Carbono
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CONCEST	Consórcio Público de Manejo dos Resíduos Sólidos da Região Cariri Oeste
CORES	Consórcio Público de Manejo dos Resíduos Sólidos da Região Cariri Oriental
COVID-19	Corona Vírus
EC	Economia Circular
EPR	<i>Extended Producer Responsibility</i>
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ISWA	<i>International Solid Waste Association</i>
MMA	Ministério do Meio Ambiente
PERS	Política Estadual de Resíduos Sólidos - CEARÁ
PET	Polietileno Tereftalato
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
PRODER	Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento Regional Sustentável
PPP	Princípio do Poluidor-Pagador
RECICLANIP	Reciclagem da Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos
REP	Responsabilidade Estendida do Produtor
RS	Resíduos Sólidos
RSL	Revisão Sistemática da Literatura
SEMA	Secretaria Estadual do Meio Ambiente
SEMASP	Secretaria de Meio Ambiente e Serviços Públicos
SGPI	Sistemas de Gerenciamento de Pneus Inservíveis
SINIR	Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos
T	Tonelada
UFCA	Universidade Federal do Cariri

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO GERAL	17
2.	ARTIGO 1 - INVENTÁRIO DO GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS DE PNEUS NO BRASIL E O MODELO DE GESTÃO APLICADO: DE 2010 A 2019	22
2.1.	INTRODUÇÃO	23
2.2.	REFERENCIAL TEÓRICO	25
2.3.	METODOLOGIA	30
2.4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
2.4.1.	Quantitativo de resíduos pneumáticos destinados corretamente no Brasil	31
2.4.2.	Tecnologias de Destinação Final Ambientalmente Adequada Realizada a Nível Nacional	36
3.	ARTIGO 2 - RESÍDUOS PNEUMÁTICOS: UM ENFOQUE DA LOGÍSTICA REVERSA NO INTERIOR DO ESTADO DO CEARÁ	43
3.1.	INTRODUÇÃO	43
3.2.	REFERENCIAL TEÓRICO	47
3.2.1.	A logística reversa de resíduos pneumáticos.....	47
3.2.2.	Pneu inservível.....	49
3.3.	METODOLOGIA	50
3.4.1.	O município de Juazeiro do Norte	52
3.4.2.	Consórcio CORES.....	54
3.4.3.	Consórcio CONCEST	55
3.4.4.	Análise do gerenciamento de resíduos pneumáticos gerados no município de Juazeiro do Norte e nos consórcios CORES e CONCEST	56
3.6.	REFERÊNCIAS	59
4.	ARTIGO 3 - SUSTENTABILIDADE E OS 12 R'S PARA O TRATAMENTO DOS RESÍDUOS PNEUMÁTICOS: UMA ANÁLISE SOB A PERSPECTIVA DA ECONOMIA CIRCULAR.....	63
4.1.	INTRODUÇÃO	64
4.2.	REFERENCIAL TEÓRICO	66
4.3.	METODOLOGIA	69
4.4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	70

4.4.2.	As indústrias fabricantes de pneus	72
4.4.3.	Ações que confirmam a Economia Circular em cada R	74
4.5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	77
4.6.	REFERÊNCIAS	79
5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	86
	REFERÊNCIAS DA INTRODUÇÃO GERAL.....	89

1. INTRODUÇÃO GERAL

O mercado global cria uma demanda anual significativa e conseqüentemente gera um grande número de pneus em fim de vida, considerados inservíveis ao seu propósito original (ARAÚJO-MORERA *et al.*, 2021). Os quantitativos de pneumáticos inservíveis são alarmantes e requerem grande atenção no seu gerenciamento, necessitando a aplicação de práticas de destinação ambientalmente adequadas, que fujam do simples aterramento e enalteçam a matéria prima pós-consumo (CHERUBINI; BARGIGLI *et al.*, 2009).

Em definição atribuída pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) o pneu inservível é um pneu usado apresentando sua estrutura em condições irreparáveis, não sendo mais possível utilizá-lo para rodagem ou para reforma (CONAMA, 2009), caracterizando, assim, o fim do uso do pneu para a atividade inicial a qual o produto era proposto e iniciando a etapa ideal da destinação ambientalmente adequada. O aumento da descartabilidade dos produtos após seu primeiro uso provoca um enorme crescimento de produtos de pós-consumo e um desequilíbrio entre as quantidades descartadas e as reaproveitadas, principalmente quando os canais de distribuição reversos de pós-consumo não estão devidamente estruturados e organizados (LEITE, 2003).

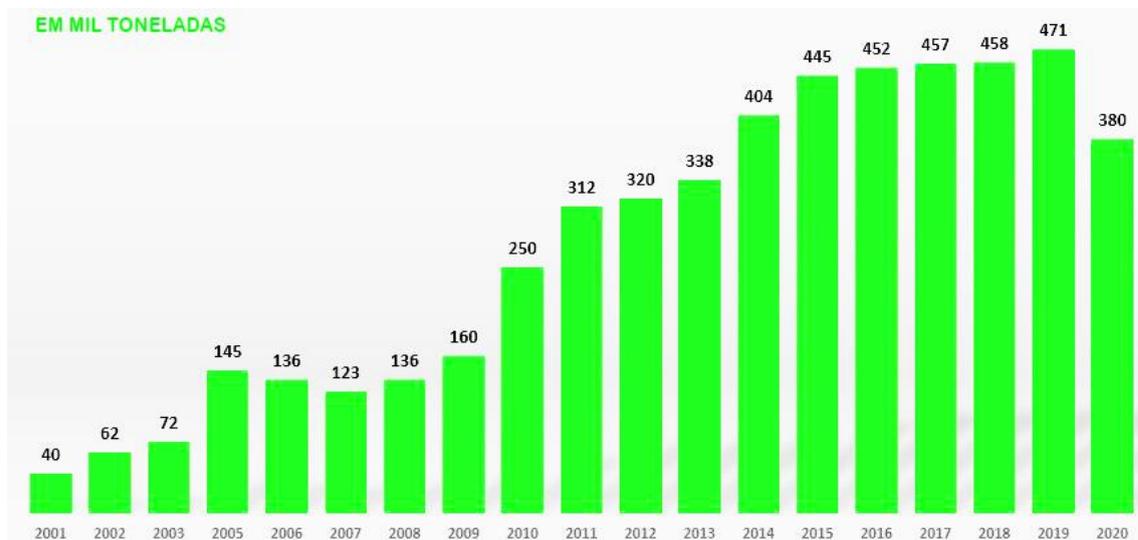
Visando diminuir o desequilíbrio na vida do pneu, o modelo de gestão baseado na Responsabilidade Estendida do Produtor - REP (*Extended Producer Responsibility - EPR*) propõe que a gestão dos pneus usados é de responsabilidade dos produtores e importadores que os colocam no mercado, cabendo aos mesmos a decisão se irão gerir os pneus usados ou se designarão a responsabilidade a uma organização sem fins lucrativos (SIENKIEWICZ *et al.*, 2012).

No Brasil, o encaminhamento dos resíduos de pneus até as recicladoras é gerenciado através da Logística Reversa (LR), conceituada como um instrumento da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) que viabiliza a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial, seja para reaproveitamento no próprio ciclo de vida do produto ou em outros ciclos produtivos, ou ainda, para serem encaminhados para outra destinação final ambientalmente adequada, em sistema independente ao fornecido pelo serviço público de limpeza urbana. Assim, os fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes são obrigados a estruturar e implementar sistema próprio de LR para os resíduos pneumáticos (BRASIL, 2010; CONAMA, 2009).

Com a finalidade de executar a LR dos pneus inservíveis nacionais, em 2007 a

RECICLANIP foi criada pelos fabricantes de pneus novos com fábricas instaladas em território nacional brasileiro (RECICLANIP, 2021). De acordo com a RECICLANIP (2021), 380 mil toneladas de pneus inservíveis foram destinadas de forma ambientalmente correta em 2020 pelos fabricantes nacionais de pneus. No período de 1999 a 2020 o montante geral de aproximadamente 5,6 milhões de toneladas de pneus inservíveis foram gerenciados adequadamente, o equivalente a 1,1 bilhão de pneus de passeio. Abaixo, o **Gráfico 1**, disponibilizado pela RECICLANIP (2021), apresenta os quantitativos e o comportamento ascendente no crescimento da destinação ambientalmente adequada dos resíduos de pneus de 2001 a 2019, assim como apresenta o comportamento decrescente para o ano de 2020. A fonte do gráfico não indica justificativa para a queda do volume de pneus inservíveis coletados nacionalmente, no entanto acredita-se que tal comportamento é consequência da pandemia do COVID-19.

Gráfico 1 - Gráfico de barras ilustrando o quantitativo aproximado de resíduos de pneus destinados corretamente no Brasil no período de 2001 a 2020



Fonte: RECICLANIP (2021).

Conforme Araujo-Morera *et al.* (2021) ao fim do uso, os pneus ainda apresentam características como resistência química e biológica, dificultando seu gerenciamento e a degradação, assim, para diminuir os impactos ambientais negativos os sistemas de recuperação de resíduos de pneus podem ser classificados em três grupos: recuperação de material; recuperação de energia; e emprego no ramo da engenharia civil e aterramento.

Os referidos sistemas de recuperação indicam excelentes caminhos de promoção da

Economia Circular (EC) dos resíduos de pneus. Esse novo modelo de produção circular cresce na indústria dos pneus, impulsionado por três motivos principais, são eles: as novas oportunidades no mercado sustentável; a obrigatoriedade das legislações ambientais cada vez mais exigentes; e/ou a verdadeira convicção de empresas mais conscientes da necessidade para minimizar seu impacto ambiental (ARAUJO-MORERA *et al.*, 2021).

Para Okafor *et al.* (2020) o modelo de produção e consumo em todo o mundo ainda segue princípios da economia linear, no entanto, identifica ascensão na busca e implementação do modelo de EC, motivada pelo movimento global em direção ao conceito de desenvolvimento sustentável. Para Avilés-Palacios e Rodríguez-Olalla (2021) a EC é considerada um modelo econômico fundamental para enfrentar o desafio do desenvolvimento sustentável, propondo a substituição da cadeia de valor linear pelas circulares para promoção da sustentabilidade, no entanto a EC não significa que sejam em si sustentáveis, pois seus efeitos no desenvolvimento sustentável não são totalmente conhecidos e indica que o modelo da EC ainda precisa revisar os fluxos de recursos não materiais como a água, o solo e a energia.

Na busca pela sustentabilidade, vários autores estudam a economia circular no gerenciamento e tratamento dos resíduos de pneus, conforme Gomes *et al.* (2019), o melhor desempenho ambiental são os tratamentos de resíduos de pneu via reciclagem mecânica para uso em grama sintética, e o pior refere-se aos pneus coprocessados e reformados, embora esclareça que não há consenso na literatura quanto ao melhor método de recuperação de pneus.

Diante da problemática levantada, entende-se que o resíduo de pneu é um material de difícil gerenciamento em função das características de fabricação e proposição de funcionalidade do produto, requerendo muita atenção ao seu gerenciamento. Assim, tendo em vista a possibilidade de compreender o ciclo de vida do pneu, mais especificamente o processo após seu descarte e a transformação do resíduo em matéria-prima, esta pesquisa busca compreender como está o cenário nacional de gerenciamento de resíduos de pneus, como é executado o gerenciamento dos resíduos de pneus por municípios localizados ao sul do estado do Ceará, e como o gerenciamento dos resíduos de pneus se insere em um contexto de Economia Circular.

Com o objetivo de contribuir com o gerenciamento de resíduos pneumáticos desenvolvido em todo território brasileiro, apresentando informações relevantes de âmbito nacional, regional, municipal e local a partir da análise, compilação e discussão de dados já publicados na literatura e de dados novos adquiridos pelos autores.

Diante dessa proposição, pretende-se atingir os seguintes objetivos específicos, que somados respondem aos questionamentos principais:

- 1) Elaborar um inventário de informações compiladas e analisar os Relatórios de Pneumáticos publicados pelo IBAMA no espaço temporal de 2011 até 2020;
- 2) Analisar a logística reversa aplicada aos resíduos pneumáticos gerenciados no município de Juazeiro do Norte e em dois Consórcios Municipais de Manejo dos Resíduos Sólidos, o consórcio CORES e o CONCESTE;
- 3) Identificar as tecnologias que promovem a economia circular nos modelos de tratamento dos resíduos de pneus que são apresentadas na literatura, assim como identificar as ações ambientais desenvolvidas pelas empresas fabricantes de pneus que possuem instalações no território brasileiro.

Para tanto a dissertação segue o encadeamento de seções. Na primeira apresenta a Introdução geral, na qual contextualiza a pesquisa, a questão problema e relevância pela escolha do tema, apresenta objetivo geral e específicos e a estrutura dessa dissertação.

Na segunda, terceira e quarta seções estão apresentados os três artigos desenvolvidos para discutir a problemática dos resíduos de pneus e seu gerenciamento. O **Quadro 1** resume a pesquisa desenvolvida nos artigos, destacando informações relevantes como: os títulos de cada artigo, os respectivos objetivos, o método de pesquisa e análise de dados, e o status de publicação.

Na quinta seção encontra-se as considerações finais abordando os principais resultados e sugerindo pesquisas futuras. Em seguida finaliza-se com as referências da dissertação, esclarecendo que ao final de cada artigo estão apresentadas suas respectivas referências.

Quadro 1 - Síntese da estrutura da dissertação.

ARTIGO	TÍTULO	MÉTODOS	STATUS
Objetivo específico 1: Elaborar um inventário de informações compiladas e analisar os Relatórios de Pneumáticos publicados pelo IBAMA no espaço temporal de 2011 até 2020			
1	Inventário do gerenciamento de resíduos de pneus no Brasil e o modelo de gestão aplicado: de 2010 a 2019	Pesquisa bibliográfica e análise documental.	A submeter
Objetivo específico 2: Analisar a logística reversa aplicada aos resíduos pneumáticos gerenciados no município de Juazeiro do Norte e em dois Consórcios Municipais de Manejo dos Resíduos Sólidos, o consórcio CORES e o CONCESTE			
2	Resíduos pneumáticos: um enfoque da logística reversa no interior do estado do Ceará	Pesquisa exploratória, estudo de caso, análise documental e pesquisa bibliográfica.	Submetido a Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional (Qualis B1) em 15/12/2021. Aguardando designação
Objetivo específico 3: Identificar as tecnologias que promovem a economia circular nos modelos de tratamento dos resíduos de pneus que são apresentadas na literatura, assim como identificar as ações ambientais desenvolvidas pelas empresas fabricantes de pneus que possuem instalações no território brasileiro			
3	Sustentabilidade e os 12 R's para o tratamento dos resíduos pneumáticos: uma análise sob a perspectiva da Economia Circular	Revisão sistemática da literatura e análise de dados secundários.	Submetido a Revista Brasileira de Gestão Urbana -URBE (Qualis B1) em 06/04/2022. Aguardando designação

Fonte: Autora (2022)

2. ARTIGO 1 - INVENTÁRIO DO GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS DE PNEUS NO BRASIL E O MODELO DE GESTÃO APLICADO: DE 2010 A 2019

RESUMO

Considerada um desafio tecnológico, a gestão dos pneus inservíveis faz-se necessária em virtude do potencial poluidor degradador desse tipo de resíduo, sendo as legislações impulsionadoras do gerenciamento ambientalmente adequado. No Brasil, encontram-se vigentes a Política Nacional de Resíduos Sólidos, Resolução CONAMA nº 416/2009, e a Instrução Normativa do IBAMA nº 09/2021, que normatiza há dez anos as publicações anuais de relatórios sobre o gerenciamento de pneus inservíveis no Brasil. Assim, esta pesquisa tem como objetivo principal elaborar um inventário do quantitativo de resíduos destinado corretamente nos anos de 2010 a 2019 e conhecer o sistema de gerenciamento de pneus inservíveis. Essa pesquisa utiliza como métodos de pesquisa a análise documental e pesquisa bibliográfica. Como resultados observou-se que o gerenciamento nacional de resíduos de pneus é baseado na Responsabilidade Estendida do Produto (REP), em que os produtores e importadores também são responsáveis pela destinação correta do material após consumo, assim como a responsabilidade é compartilhada também com os municípios e demais *stakeholders* envolvidos no processo logístico reverso. Pelo inventário observou-se que a região Sudeste destina mais toneladas de resíduos pneumáticos e a região Norte destina menos; das tecnologias de tratamento, o coprocessamento apresenta-se como a principal destinação, seguida da tecnologia de reciclagem/granulação. Dos estados brasileiros, o Acre, Amapá e Roraima não registraram a execução do gerenciamento da logística reversa dos resíduos pneumáticos. Assim, o inventário contribui na identificação dos gargalos no processo de gestão dos resíduos pneumáticos, para a literatura, e auxilia a tomada de decisões na gestão ambiental.

Palavras chave: Resíduos de pneus. Responsabilidade estendida do produtor. Destinação de resíduos de pneus. Inventário.

ABSTRACT

Considered a technological challenge, the management of waste tires is necessary due to the degrading polluting potential of this type of waste, and the laws that drive environmentally appropriate management. In Brazil, the National Solid Waste Policy, CONAMA Resolution No. 416/2009, and the IBAMA Normative Instruction No. 09/2021, which for ten years have regulated the annual publication of reports on the management of waste tires in Brazil, are in effect. . Thus, this research has as main objective to prepare an inventory of the amount of waste correctly destined in the years 2010 to 2019 and to know the waste tire management system. This research uses document analysis and bibliographic research as research methods. As a result, it was observed that the national management of waste tires is based on Extended Product Responsibility (REP), in which producers and importers are also responsible for the correct destination of the material after consumption, as well as the responsibility is shared also with the municipalities and other stakeholders involved in the reverse logistics process. Through the inventory, it was observed that the Southeast region sends more tons of pneumatic waste and the North region sends less; of treatment technologies, co-processing is the main destination, followed by recycling/granulation technology. Of the Brazilian states, Acre, Amapá and Roraima did not register the execution of reverse logistics management of pneumatic waste.

Thus, the inventory contributes to the identification of bottlenecks in the pneumatic waste management process, for the literature, and helps decision-making in environmental management.

Keywords: Tire Waste. Extended Producer Responsibility. Disposal of waste tires. Inventory.

2.1. INTRODUÇÃO

A gestão de pneus usados é desafiadora, sua forma e tamanho geram dificuldade no processo de gerenciamento (RESENDE *et al.*, 2004), sua borracha é considerada um material não destrutível e não biodegradável, uma vez que são projetados para resistir a severas condições mecânicas e climáticas (SIENKIEWICZ *et al.*, 2012), podendo passar até 600 anos para se decompor completamente (RESENDE *et al.*, 2004; L.SHULMAN, 2019). Os resíduos compostos por materiais não biodegradáveis, são gerenciados como os biodegradáveis por falta de regulamentação específica e/ou porque sua reciclagem não é economicamente atrativa, desencadeando falhas de gestão e de planejamento, contribuindo para o agravamento de problemas ambientais em âmbito local, regional e até global (DANIEL MARTÍNEZ *et al.*, 2013).

Quando descartados inadequadamente os pneus usados podem causar efeitos nocivos à saúde humana e ao meio ambiente, sendo motivo de grande preocupação para as autoridades municipais, pois favorecem problemas, como a transmissão de doenças e aumento dos riscos de gerar incêndios (JANG *et al.*, 1998). Para não seguir destinação incorreta, de acordo com Bouzon *et al.* (2016), há várias décadas a logística reversa (LR) de resíduos é aplicada em níveis avançados em muitos países desenvolvidos, complementando a cadeia de suprimentos, principalmente devido à questões legislativas, no entanto, em economias emergentes, como o Brasil, a LR ainda está em um estágio inicial de aplicação.

No Brasil, a legislação vigente que regulamenta especificamente o adequado gerenciamento dos resíduos é a Resolução CONAMA N° 416/2009, esclarecendo no Art. 1° que no território brasileiro “os fabricantes e os importadores de pneus novos, com peso unitário superior a 2,0 kg (dois quilos), ficam obrigados a coletar e dar destinação adequada aos pneus inservíveis”, assim como ficam obrigados a desenvolver a logística reversa nacionalmente (CONAMA, 2009).

Para tanto o Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis

(IBAMA) (2021) publicou a Instrução Normativa Nº 09/2021 instituindo os procedimentos necessários a serem executados pelos fabricantes e importadores de pneus novos, juntamente aos destinatários de pneus inservíveis, a fim de declarar a cada três meses a destinação ambientalmente adequada dos mesmos. Com base nas referidas declarações de destinação correta, o IBAMA já apresentou 10 (dez) relatórios anuais reunindo informações referente ao gerenciamento, no período de outubro de 2009 até 2019, com o primeiro relatório publicado em 2011 e o último em 2020, até o momento.

De forma geral, no Brasil existem ainda outras legislações vigentes como leis e normas que versam sobre resíduos sólidos, identificando classes e caracterizações específicas de cada categoria, dentre as quais cita-se a Lei 12.305/2010 conhecida como a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), a principal lei brasileira que dispõe sobre gestão destes e lista os pneus como um resíduo que requer atenção especial no seu gerenciamento, indicando a logística reversa como solução, ressaltando a importância na responsabilidade compartilhada do resíduo (BRASIL, 2010). Com base nas legislações, o aumento na quantidade de pneus reciclados no Brasil desde 2010, quando ocorreu a instituição da PNRS, apontando que a responsabilidade compartilhada na vida útil dos pneus está sendo levada a sério e que ações relacionadas à consciência ecológica pode ser uma realidade na sociedade brasileira (LEITE, 2017).

Mas antes das legislações brasileiras serem instituídas, a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais - ABRELPE, apresentou em panorama dos resíduos sólidos do Brasil, que 150 mil toneladas de pneus foram utilizadas como combustível no período de 1999 a 2004. E que no ano de 2004, o quantitativo de 146 mil toneladas de pneus inservíveis tivera diferentes destinações, conforme especifica os percentuais a seguir: 56,06% foram destinados para a produção de combustível alternativo; 17,65% para laminação; 19,65% para artefatos/ matéria-prima; e 6,64% para exportação (ABRELPE, 2004).

Ainda de acordo com a ABRELPE, no panorama de resíduos sólidos publicado no ano de 2020, a ampliação logística dos pontos de coleta instalados no território nacional contribuiu para o desenvolvimento nas quantidades de pneus recuperados. Relata que, de 1999 até o final do ano de 2019, aproximadamente 5,23 milhões de toneladas de pneus inservíveis foram coletados e corretamente destinados, o que equivale a cerca de 1,04 bilhão de pneus de carro de passeio que não foram dispostos erroneamente no meio ambiente (ABRELPE, 2018/2019).

O IBAMA publicou no Relatório de Resíduos Pneumáticos de 2020 que em 2019 foi colocado no mercado de reposição aproximadamente 859.994,68 toneladas de pneus no início da vida útil. Por força das legislações vigentes supracitadas, a meta de destinação nacional para os pneus em fim de vida útil para o mesmo ano de 2019 deveria ser de 601.996,27 toneladas de pneus inservíveis. Graças ao gerenciamento realizado por meio da logística reversa de pneus aplicada em território nacional, o percentual de 97,24% da meta foi cumprido, significando que 585.391,08 toneladas de pneus inservíveis foram processadas por tecnologias de destinação ambientalmente adequadas tais como o coprocessamento, laminação, granulação e pirólise (IBAMA, 2020).

Tendo em vista que já foram publicados dez relatórios referente aos quantitativos de resíduos de pneus gerenciados pela logística reversa no Brasil, entende-se como viável a elaboração de um inventário reunindo, por meio do método da análise documental, todos os dados quantitativos e apresentá-los de forma compilada, resumida e unificada. Nesse contexto, essa pesquisa tem como objetivo principal compilar e analisar informações apresentadas nos Relatórios de Pneumáticos publicados pelo IBAMA no espaço temporal de 2011 até 2020; assim como contextualizar a problemática, reunindo informações por meio da pesquisa bibliográfica referente ao modelo de gestão nacional aplicado aos resíduos de pneus; às legislações aplicáveis; e às organizações responsáveis pelo gerenciamento executado nacionalmente.

2.2. REFERENCIAL TEÓRICO

Os Sistemas de Gerenciamento de Pneus Inservíveis (SGPI) podem ser classificados em 3 (três) diferentes tipos: (1) responsabilidade do produtor, (2) responsabilidade do governo e (3) mercado livre (ETRMA, 2015).

O SGPI, baseado na responsabilidade do produtor, foi desenvolvido no início da década de 1990, na Europa Ocidental, motivado pelas limitações das políticas tradicionais em mitigar a crescente geração de resíduos sólidos, sendo essa uma derivação do Princípio do Poluidor-Pagador (PPP) partindo do pressuposto que as empresas são responsabilizadas por suas externalidades ambientais, devendo reduzir os impactos ambientais e os custos privados associados (MILANEZ; BÜHRS, 2009). O modelo da Responsabilidade Estendida do Produtor (REP), em inglês “*Extended Producer Responsibility - (EPR)*”, significa que produtores e

importadores responsáveis pelo produto causador de impactos ambientais negativos, é também responsável pela destinação correta do material após consumo (RESENDE *et al.*, 2004). Assim o conceito de REP torna os produtores responsáveis por todo o ciclo de vida do produto, não apenas por sua etapa de produção (MILANEZ; BÜHRS, 2009).

Ainda conforme Milanez e Bührs (2009, p. 12), o conceito de REP destaca dois elementos principais: “(1) transferência de responsabilidade dos municípios para as indústrias e (2) foco na inovação e redesenho de produtos”, apontando erro na elaboração da política ambiental brasileira de gerenciamento de resíduos de pneus, pois aponta que a discussão foi limitada apenas à transferência de responsabilidade, sem considerar políticas complementares de inovação tecnológica e soluções preventivas na geração de resíduo, e assim os produtores e importadores de pneus não tem essa obrigação legal, desencadeando principalmente uma política ambiental limitada, diversidade entre as tomadas de decisões entre as empresas e falhas de monitoramento, caracterizando dificuldade na implementação da política nacional baseada no conceito da REP

Sienkiewicz *et al.* (2012) enaltecem que na maioria dos países europeus o retorno de pneus inservíveis para reciclagem acompanha o modelo de gestão baseado na REP, podendo tal prática ser realizada “diretamente pelo produtor ou por meio da mediação de organizações especializadas de recuperação / reciclagem que atuam em seu nome”. Apontam que o método REP apresenta vantagem como “a transparência substancial no controle das organizações que cumprem as normas impostas” e o:

“financiamento eficiente das organizações de recuperação pelos maiores fabricantes mundiais de pneus tem permitido o desenvolvimento de pesquisas e a implementação de tecnologias modernas que aumentam a eficiência da recuperação e reciclagem de pneus” (SIENKIEWICZ *et al.*, 2012, p. 1745)

Na União Europeia, os fabricantes e as organizações de recuperação dos pneus usados, desenvolvem principalmente atividades de organização e coordenação de um sistema nacional de recolha de pneus em pontos de serviço e de troca de pneus, nas oficinas de automóveis, em estaleiros de sucata e em comunidades. São responsáveis pelo transporte dos resíduos de pneus às empresas que realizam a destinação final. Sendo os responsáveis obrigados a apresentar relatórios anuais sobre os efeitos de suas atividades e, caso não tenham conseguido atingir as metas de recuperação e reciclagem exigidas, são obrigadas a pagar um imposto sobre o produto, separadamente para recuperação e para reciclagem que agem compactuando com a transparência do método e por força de legislação europeia (SIENKIEWICZ *et al.*, 2012).

No Brasil o gerenciamento desses resíduos é especificado na Resolução CONAMA

nº 416/2009, em seu Art 1º, determinando que os fabricantes e os importadores são responsáveis pelos serviços de coleta e por destinar adequadamente os resíduos de pneumáticos gerados no Brasil. Esclarece ainda que juntamente com o Poder Público, os distribuidores, revendedores, destinadores e os consumidores que fazem parte do ciclo de vida dos pneus deverão, junto aos fabricantes e importadores, executar o gerenciamento desses resíduos através da logística reversa (CONAMA, 2009). Esclarecendo que a gestão ambiental não é desenvolvida por um único agente.

Considerando os envolvidos, no mínimo três setores são considerados *stakeholders* no sistema de gestão dos resíduos sólidos e manifestam interesse em participar de atividades que a tornem possível, que são: o governo (nacional e local), população usuária e as empresas prestadoras de serviços (coletoras, recicladoras) (TAI *et al.*, 2011). Outros mais identificam os seguintes *stakeholders* envolvidos na gestão de resíduos: governo nacional e local; autoridades municipais; corporações da cidade; organizações não governamentais; famílias; empreiteiros privados; Ministérios da Saúde; Meio Ambiente, Economia e Finanças, e empresas de reciclagem (GUERRERO; MAAS; HOGLAND, 2013). Assim compreende-se que todos os *stakeholders* citados acima possuem uma parcela de corresponsabilidade quando não executam, ou quando não cobram das autoridades que boas práticas de gestão ambientalmente adequadas sejam postas em prática.

Reconhecendo o universo de envolvidos, a PNRS integra os catadores de materiais recicláveis e reutilizáveis, a responsabilidade compartilhada, e a logística reversa como avanço na interação dos responsáveis pelos resíduos. De forma que em seu Art. 1º, § 1º, atribui responsabilidades “as pessoas físicas ou jurídicas, de direito público ou privado, responsáveis, direta ou indiretamente, pela geração de resíduos sólidos e as que desenvolvam ações relacionadas à gestão integrada ou ao gerenciamento de resíduos sólidos” (BRASIL, 2010, p. 1).

Normalmente, no Brasil o gerenciamento dos resíduos sólidos depende da execução municipal, que para ter êxito conta com a participação dos geradores de resíduos atribuindo parte da responsabilidade a estes, assim como não descarta a contribuição integrada da gestão estadual e/ou nacional, conforme esclarecido na PNRS que dita no art. 10:

“incumbe ao Distrito Federal e aos Municípios a gestão integrada dos resíduos sólidos gerados nos respectivos territórios, sem prejuízo das competências de controle e fiscalização dos órgãos federais e estaduais do Sisnama, do SNVS e do Suasa, bem como da responsabilidade do gerador pelo gerenciamento de resíduos, consoante o estabelecido nesta Lei” (BRASIL, 2010, p. 10).

Especificamente sobre resíduos de pneus, a vigente Resolução CONAMA Nº 416/2009 revoga as Resoluções CONAMA nº 258/ 1999 e nº 301/2002, e exalta a preocupação em prevenir à degradação ambiental e a destinação ambientalmente adequada dos mesmos através do gerenciamento dos pneus inservíveis (CONAMA, 2009). Em seu Art. 9º, dita que: “os estabelecimentos de comercialização de pneus são obrigados, no ato da troca de um pneu usado por um pneu novo ou reformado, a receber e armazenar temporariamente os pneus usados entregues pelo consumidor” (CONAMA, 2009, art. 9º). Quanto à destinação final que deverá ser dada aos resíduos de pneus usados “é vedada a disposição final de pneus no meio ambiente, tais como o abandono ou lançamento em corpos de água, terrenos baldios ou alagadiços, a disposição em aterros sanitários e a queima a céu aberto” (CONAMA, 2009, art. 14º).

Os resíduos sólidos requerem em sua gestão uma visão multidisciplinar pelos governos nacionais, regionais e municipais, de forma que uma gestão baseada apenas em aterro (descarte de baixo custo) deve ser superada, iniciando com a execução da separação dos resíduos na fonte geradora como forma de otimização da coleta destes, fomentando esforços para reintegrar os produtos pós consumo nos processos de produção industrial novamente (FLEISCHMANN *et al.*, 2000; DAS; BHATTACHARYYA, 2015).

Para atender as determinações das legislações brasileiras, as indústrias nacionais fabricantes de pneus novos criaram, em 2007, a entidade de Reciclagem da Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos (RECICLANIP), que presta o serviço sem custos para os municípios parceiros, criando os pontos de coleta para armazenar o pneu usado entregue de forma voluntária por borracharias, revendedoras e dos próprios cidadãos. Posteriormente a coleta e transporte do material são executadas por empresas transportadoras prestadoras de serviço para a RECICLANIP, de modo que os locais de coleta, transporte e destino são previamente acordados entre as partes. Quanto às empresas destinadoras, para a formalização da contratação pela RECICLANIP, todas precisam ser homologadas pelo IBAMA e estarem regularizadas pelos demais órgãos federais, estaduais e municipais (RECICLANIP, 2021). Suas atividades são sustentadas pelo investimento das empresas fabricantes de pneus no Brasil (RECICLANIP, 2021).

Quanto aos importadores de pneus novos, cada associado deve promover a logística reversa por meios próprios ou contratando terceiros nos termos do art. 12 da Resolução CONAMA 416/09, pois a Associação Brasileira de Importadores e Distribuidores de Pneus (ABIDIP) não executa a logística reversa por não possui competência estatutária para gerenciar

ambientalmente pneus inservíveis. A ABIDIP aponta que tem como objetivos a união e organização do setor de importação de pneus no Brasil, a busca por uma atuação responsável por parte dos importadores assim como a profissionalização, estruturação e o conhecimento sobre os direitos e obrigações dos importadores (ABIDIP, 2021).

Assim Bittencourt (2021) comenta que com a RECICLANIP, os fabricantes nacionais de pneus novos mostram-se interessados em atender à relação de um pneu comercializado por um pneu destinado corretamente. Diferentemente, as importadoras de pneus novos aplicam o fator de desgaste de 30% do peso original do pneu novo no método de avaliação da logística reversa, situação permitida pela Resolução CONAMA nº 416/2009, no entanto, conclui o autor que tal fator de correção acarreta perda nas metas de destinação global dos pneus em fim de vida útil.

São várias as organizações que levantam a problemática dos resíduos sólidos no Brasil, além da RECICLANIP e ABIDIP, outras organizações desenvolvem ações de divulgação de informações sobre resíduos, tais como o IBAMA, Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos (SINIR) e a ABRELPE, apresentadas adiante.

Compete IBAMA estabelecer os procedimentos e métodos para a verificação do cumprimento da Resolução CONAMA nº 416/2009, para tanto foi publicada, a Instrução Normativa nº 09/2021, que revoga a Instrução Normativa nº 01/2010 e institui o “*Relatório de Pneumáticos: Resolução Conama nº 416/2009,*” a ser publicado anualmente, sendo este uma ferramenta eletrônica pela qual as empresas fabricantes e importadoras de pneus novos comprovam o cumprimento das obrigações previstas na referida resolução vigente. O Relatório deve ser preenchido pelos fabricantes e importadores de pneus novos, bem como pelas empresas destinadoras de pneumáticos inservíveis (IBAMA, 2021)

O Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos (SINIR) é um dos instrumentos de gestão proposto pela PNRS. Com o objetivo ampliar a transparência e sintetiza as informações sobre os sistemas de LR em execução nacional, o SINIR juntamente ao Ministério do Meio Ambiente (MMA), apresenta informações em gráficos e em mapas que possibilitam o leitor a estratificar informações por meio de filtros interativos em páginas da internet, nomeado de Painel Descarte Legal Logística Reversa para os resíduos de: pneus; óleo lubrificante usado/contaminado; e de lâmpadas (SINIR, 2017; BRASIL, 2010).

A Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE) é nacionalmente a representante da associação internacional International Solid

Waste Association (ISWA), que atua mundialmente visando a promoção e desenvolvimento com foco exclusivo para o setor de resíduos sólidos no mundo. A ABRELPE é reconhecida nacionalmente pelos setores público e privado, desenvolvendo atividades de coleta de dados, promoção de informações, estudos e experiências destinados a conscientizar a sociedade para a correta gestão de todos os tipos de resíduos sólidos (ABRELPE, 2018/2019).

Tem-se observado a crescente preocupação com o gerenciamento de resíduos sólidos no Brasil relatado nos Relatórios de Pneumáticos publicados pelo IBAMA, que registra a aplicação das práticas de destinação ambientalmente adequada desses materiais, como a reutilização e a reciclagem, fugindo da simples prática de aterro e enaltecendo a matéria-prima pós-consumo.

2.3. METODOLOGIA

Definiram-se como métodos a pesquisa bibliográfica e a análise documental. A pesquisa foi classificada como exploratória quanto aos objetivos, qualitativa e quantitativa quanto à abordagem e à natureza do processo.

Os estudos disponíveis na literatura científica subsidiaram a pesquisa bibliográfica, que para Gil (2008) são em grande número e proporcionam à pesquisadora a vantagem de conhecer uma gama ampla de fenômenos de ocorrência em vários territórios. A fonte de dados foram principalmente artigos científicos publicados na literatura e legislações vigentes.

Ademais, a análise documental empregada para elaboração do inventário de resíduos de pneus destinados corretamente tem como fonte de informações os 10 relatórios governamentais publicados no *website* do IBAMA. Tal análise de conteúdo terá por objetivo descrever e interpretar o conteúdo das informações obtidas (YIN, 2001). A tabulação dos dados para o inventário refere-se a série temporal no período de 2010 a 2019, e a produção dos quadros e gráficos foram realizados com o *software* Microsoft EXCEL.

2.4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A disposição inadequada dos resíduos sólidos causa poluição das águas e ar, a contaminação dos solos e ajudam na proliferação de vetores de doenças, acarretando danos diretos e/ou indiretos a saúde humana e o meio ambiente. Considera-se que o gerenciamento adequado dos resíduos sólidos, em especial os pneumáticos inservíveis, alcança patamares que

vão além do reaproveitamento da matéria e ao benefício ao meio ambiente, tornando-se uma forma de prevenção à saúde pública.

O IBAMA, cumprindo as determinações da Resolução CONAMA nº 416/2009 e através da Instrução Normativa Nº 09/2021, tem publicado em seu *website*, até a presente data, 10 (dez) relatórios, tendo o primeiro sido publicado no ano de 2011 e o último em 2021, de forma que o último tem como base os quantitativos do gerenciamento dos pneus destinados corretamente no ano de 2019 e o primeiro relatório tem como base os quantitativos de outubro de 2009 a dezembro de 2010, os demais relatórios foram publicados nos anos seguintes aos dos dados base.

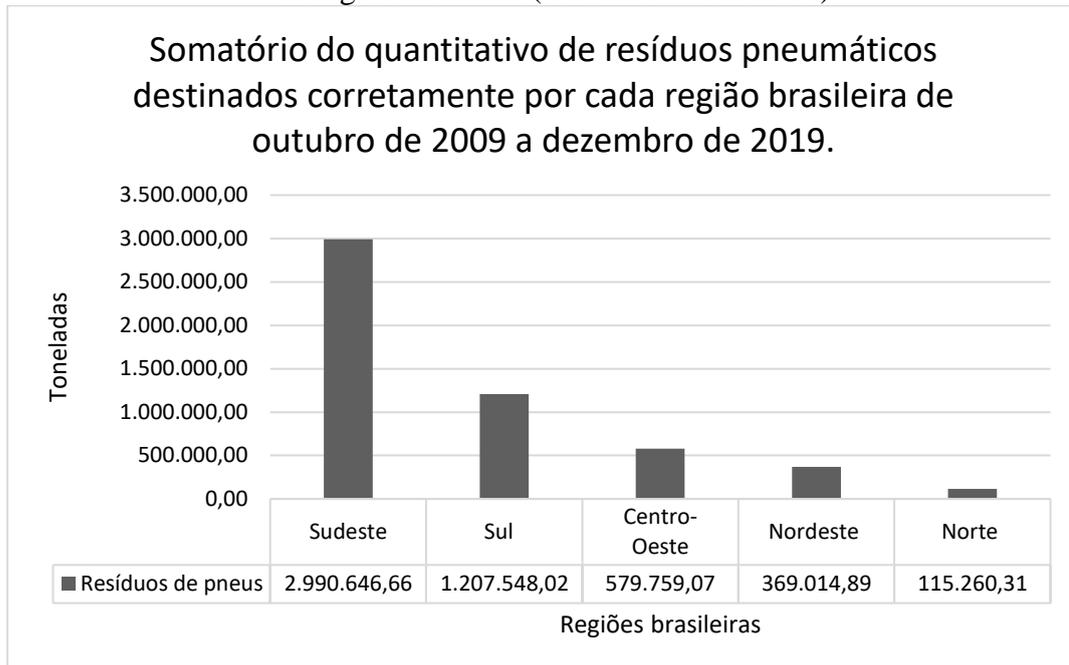
Tendo como referência os dados base de 2019 e considerando os 365 dias por ano, infere-se, *grosso modo*, que a cada dia o Brasil destina corretamente o quantitativo aproximado de 1.603,8 tonelada de resíduos de pneus pós-consumo.

2.4.1. Quantitativo de resíduos pneumáticos destinados corretamente no Brasil

Com base nos Relatórios Pneumáticos publicados pelo IBAMA, produziu-se o **Gráfico 2** e a **Tabela 1**, apresentando o somatório em toneladas de resíduos de pneus destinados corretamente anualmente no período de 2010 a 2019. Os dados listados na **Tabela 1** foram estratificados quanto a destinação ambientalmente correta para às cinco regiões brasileiras e por alguns estados brasileiros, pois, o IBAMA não publicou quantitativos nos relatórios de pneumáticos referente aos estados de Acre, Amapá e Roraima, todos da região Norte, inferindo-se que estes não desenvolvem a cadeia de logística reversa dos pneus pós-consumo.

Nos dez anos compreendidos na série temporal, a região Sudeste sempre foi a que destinou mais toneladas de resíduos pneumáticos, ao passo que a região Norte a que destinou menos. Curiosamente observou-se que o somatório dos 10 anos de resíduos pneumáticos destinados corretamente pela região Norte é menor quantitativamente que o valor destinado pelo estado de São Paulo por um único ano da série temporal estudada. Logicamente muitos fatores devem interferir nessa discrepância quantitativa, embora não seja objeto dessa pesquisa, sugere-se que o número de habitantes em cada região; o uso da navegação na região Norte ser muito expressivo; o quantitativo de pneus novos colocados no mercado de reposição; dentre outros, interfiram no quantitativo final de resíduos de pneus descartados.

Gráfico 2 - Somatório do quantitativo de resíduos pneumáticos destinados corretamente por cada região brasileira (out. 2009 – dez. 2019).



Elaboração: Autora (2021). Fonte: Relatórios de pneumáticos do IBAMA (2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020).

Na **Tabela 1** observa-se a relevante variação entre os quantitativos registrados referente aos pneus destinados no ano de 2019, identificando os valores extremos, sendo registrado que o estado com maior destinação de pneus é São Paulo (SP), com 163.327,34 toneladas, e o estado com menor índice de destinação é o Espírito Santo (ES), com 48,04 toneladas.

Observa-se ainda que para o estado do Ceará, conforme publicado no Relatório Pneumáticos de 2018, no ano base de 2017 obteve-se o maior saldo no volume em toneladas na destinação de resíduos pneumáticos para o Estado no período estudado, representando um percentual de 1.10% do quantitativo de saldo de destinação nacional de resíduos pneumáticos para o referido ano. Curiosamente, identifica-se que para o ano de 2016, ano antecedente, houve uma queda severa no quantitativo do saldo em toneladas de destinação estadual de resíduos pneumáticos, apresentando o valor aproximado de 878 (oitocentos e setenta e oito) toneladas de resíduos, correspondente a um valor percentual aproximado de 0,18% do quantitativo de saldo em toneladas de destinação nacional de resíduos pneumáticos. Já no último relatório publicado pelo IBAMA, o estado do Ceará representa percentualmente apenas 0,30% do quantitativo nacional de pneus inservíveis que tiveram a destinação final ambientalmente executada, totalizando 1.773,20 toneladas destinados corretamente pelos municípios cearenses.

Tabela 1 - Quantitativos referentes aos saldos de destinação ambientalmente adequada para os resíduos pneumáticos de cada estado brasileiro (2010-2019).

Quantitativos em toneladas de resíduos de pneumáticos destinados ambientalmente por cada estado brasileiro.										
Ano da base de dados	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Estados (siglas)										
Região Norte: 115.260,31 toneladas										
AM	8,337,65	7445,56	9.501,92	9.046,42	14.597,84	9.003,67	9.270,45	10.919,33	8,337,65	21.932,02
PA	15,81	-	-	-	-	42,23	282,18	7.609,49	-	250,06
RO	120	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TO	-	-	-	-	-	-	-	42,56	19,5	-
Região Nordeste: 369.014,89 toneladas										
AL	5.561,05	2682,25	2.432,86	2.359,93	1.252,80	2.265,85	3.213,84	1.475,04	139,11	470,38
BA	4.260,79	10359,04	7.436,29	9.488,90	9.913,46	10.037,14	15.337,33	20.059,21	17.904,00	21.312,45
CE	2.971,30	971,16	1.009,87	1.327,46	1.743,03	2.047,61	878,33	6.430,14	1.792,65	1.773,20
MA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	121,98
PB	6.126,26	7306,82	11.062,63	6.489,82	5.120,14	10.234,82	-	-	301,96	392,28
PE	79,85	46,25	-	-	-	-	-	-	-	697,74
PI	1.888,55	8832,93	8.905,19	8.997,25	12.146,71	11.518,16	11.160,13	11.268,83	17.525,06	9.371,47

RN	-	-	-	-	-	-	-	546,85	969,34	631,84
SE	2.464,32	323,72	91,81	589,98	326,82	4.689,41	9.869,41	13.175,11	8.719,62	8.059,28
Região Centro Oeste: 579.759,07 toneladas										
DF	6.919,29	1.757,34	10.098,66	5.408,18	8.497,25	8.515,44	14.187,32	7.532,47	12.048,25	12.883,27
GO	21.648,81	19700,68	10.419,99	14.307,10	17.321,31	15.040,36	15.832,20	15.707,14	19.227,57	23.404,01
MS	7.282,83	14.012,45	6.885,45	13.520,46	18.083,89	18.188,17	6.178,12	13.943,94	8.623,63	6.924,94
MT	7.978,46	3.838,39	9.364,22	14.847,92	20.099,26	35.042,69	26.103,66	20.011,55	35.960,96	32.238,54
Região Sudeste: 2.990.646,66 toneladas										
ES	106,47	4.439,59	3.626,34	2.605,76	-	890	-	-	-	48,04
MG	85.975,46	68.906,12	77.851,52	93.217,41	103.546,59	110.146,55	89.646,06	96.796,80	103.168,94	118.044,56
RJ	47.626,86	35100,50	40.211,04	21.927,72	35.623,08	31.597,72	25.973,36	47.513,07	50.687,31	29.684,31
SP	215.204,06	180.312,06	156.988,32	169.718,62	174.465,93	133.882,48	135.538,95	188.300,57	148.132,00	163.327,34
Região Sul: 1.207.548,02 toneladas										
PR	116.954,76	76.999,12	88.317,41	94.790,70	84.373,32	85.309,75	95.245,04	71.970,32	98.220,44	77.159,56
RS	14.796,64	19053,24	14.688,97	16.765,37	22.332,51	17.410,72	13.891,58	33.665,55	24.818,78	35.438,87
SC	260,52	184,98	137,71	6440,65	15197,00	13.061,61	20.791,17	18.284,34	9.727,07	21.224,93

Elaboração: Autora (2021). Fonte: Relatórios de pneumáticos do IBAMA (2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020).

Tabela 2 - Tecnologia de destinação final e quantidade total de pneus inservíveis destinados corretamente nos anos de 2010 até 2019.

Tecnologia	Destinação (t)									
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Coprocessamento	294.956,94	256.481,24	219.269,09	267.448,35	300.510,70	307.015,71	297.168,80	274.815,07	326.401,99	366.188,58
Reciclagem/Granulação	160.768,18	138.313,28	168.499,14	165.574,82	189.699,79	122.239,97	133.940,43	215.604,04	135.019,54	110.878,32
Laminação	91.714,70	59.197,88	61.115,93	43.839,44	54.168,63	82.807,09	56.945,41	81.624,74	95.596,99	12.535,83
Pirólise	-	-	336,03	72,94	316,28	6.599,49	5.344,49	13.208,46	9.305,31	95.788,35
Regeneração da borracha	118,28	130,62	-	17,47	-	262,1	-	-	-	-
Industrialização do xisto	7.549,51	8.334,18	9.810,00	14.700,00	-	-	-	-	-	-
Total	555.107,62	462.457,19	459.030,19	491.653,02	544.695,39	518.924,36	493.399,13	585.252,32	566.323,83	585.391,08

Elaboração: Autora (2021). Fonte: Relatórios de pneumáticos do IBAMA (2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020).

2.4.2. Tecnologias de Destinação Final Ambientalmente Adequada Realizada a Nível Nacional

Com base nos dados publicados pelo IBAMA, o Brasil soma o total aproximado de 5,262 milhões (5.262.234,13) toneladas de pneus pós consumo que foram destinados corretamente ao longo da série histórica de 2010 a 2019. Nesse período as tecnologias de destinação utilizadas foram: Coprocessamento, Reciclagem/Granulação, Laminação, Pirólise, Regeneração da borracha e Industrialização do xisto (**Tabela 2**). As duas últimas tecnologias de destinação estão em desuso a mais de quatro anos.

Observa-se no **Gráfico 3** e na **Tabela 2** que das tecnologias de processamento destes resíduos, o coprocessamento foi a pioneira empregada nacionalmente, seguida da tecnologia de reciclagem/granulação. A tecnologia de Laminação manteve-se como terceira opção de tecnologia mais utilizada nacionalmente de 2010 até 2018, apresentando queda expressiva em 2019, ano em que a pirólise teve elevada ascendência.

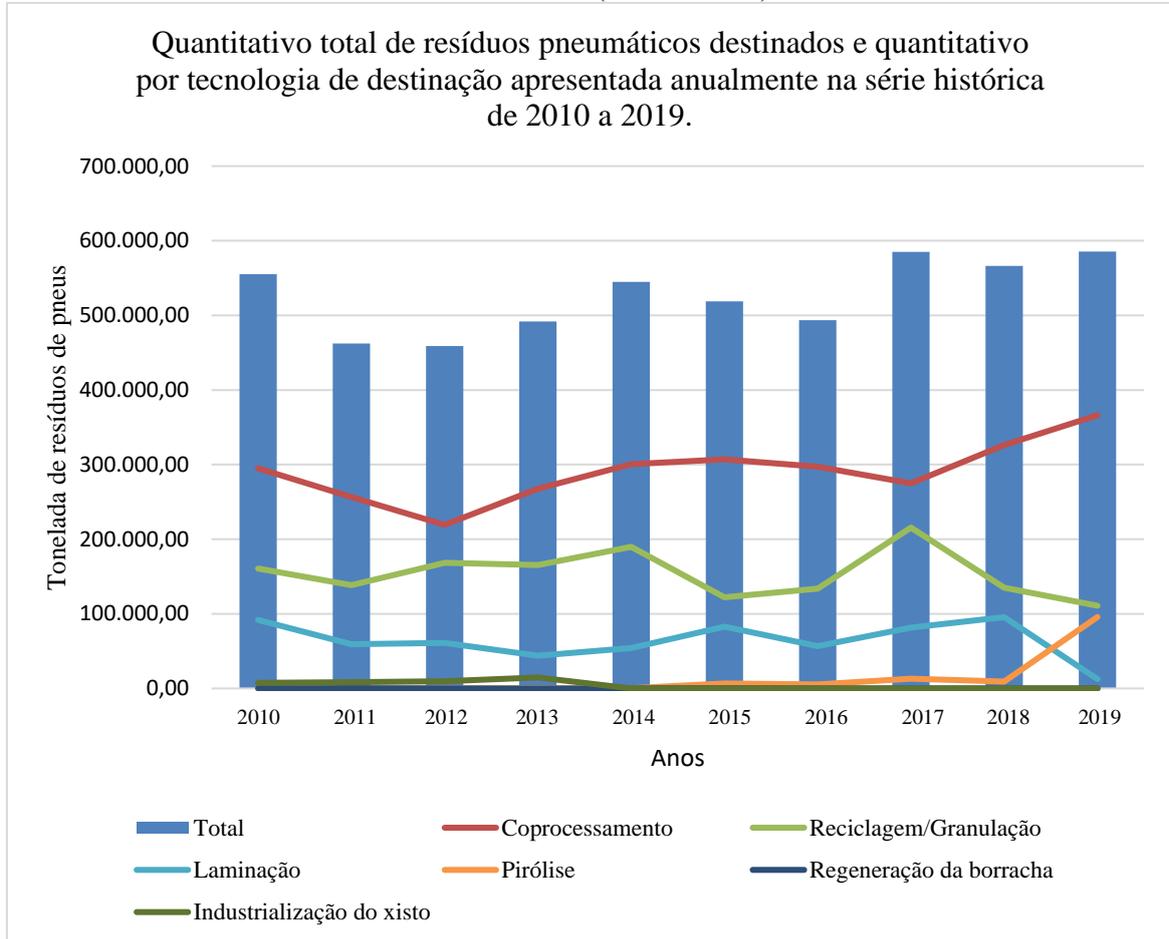
Os dados apresentados confirmam a execução e continuação da logística reversa aplicada aos resíduos pneumáticos pós-consumo. No entanto, tais valores deveriam ser maiores, pois alguns fatores acarretam perda nas metas de destinação global dos pneus em fim de vida útil, tal como ocorre quando as empresas importadoras de pneus novos aplicam o fator de desgaste de 30% do peso original do pneu novo no método de avaliação da logística reversa (BITTENCOURT, 2021).

Além de existirem quantitativos que são perdidos durante os processos, tal como a análise de Bittencourt (2021), ao identificar os fluxos de destinação dos resíduos de pneus que não são contabilizados e não destinados, resultando no erro de balanço de massa superior a 30%, equivalendo em média a 105 toneladas por ano de resíduos de pneus, configurando problema na subnotificação nos fluxos de destinação no município de Vitória da Conquista (BA). O estudo caracteriza os não contabilizados como aqueles que não são destinados corretamente pela logística reversa e acabam sendo destinados equivocadamente para aterro sanitário. Já os fluxos não contabilizados seguem caminhos dispersos, tais como os pneus que são lançados em leitos de rios, ou os empregados em usos domésticos e para construção de alvenarias improvisadas. Assim, identifica-se tal erro como uma lacuna promissora para pesquisas futuras.

Bittencourt (2021) considera o cenário nacional idêntico ao cenário do município de Vitória da Conquista (BA), indicando que o erro de balanço de massa superior a 30%

acontece em todo Brasil. Resultando em grandes quantidades de resíduos pneumáticos que seguem fluxos dispersos e não chegam à destinação ambientalmente adequada a nível nacional.

Gráfico 3 - Gráfico de barras indicativas do quantitativo total de resíduos pneumáticos destinados (2010 - 2019).



Elaboração: Autora (2021). Fonte: Relatórios de pneumáticos do IBAMA (2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020).

* Linhas identificando a variação quantitativa da destinação por tecnologia empregada anualmente.

2.5. CONCLUSÃO

O Sistema de Gerenciamento de Pneus Inservíveis (SGPI), baseado na responsabilidade do produtor, é uma extensão do Princípio do Poluidor-Pagador (PPP) e atribui aos produtores e importadores de pneus a responsabilidade por todo o ciclo de vida do produto. Assim, o sistema de gestão *Extended Producer Responsibility* - EPR baseou a elaboração da política ambiental brasileira de gerenciamento de resíduos de pneus.

Conclui-se que antes de serem criadas legislações nacionais sobre os resíduos de pneus, já havia em execução uma gestão de recolhimento e destinação ambientalmente adequada dos mesmos, pois no Panorama dos Resíduos Sólidos, publicado pela Associação

Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais – ABRELPE, consta que no Brasil 150 mil toneladas de pneus inservíveis foram utilizadas como combustível no período de 1999 a 2004 (ABRELPE, 2004).

Com as publicações das legislações a disponibilização de informações e indicação das responsabilidades ficaram esclarecidas, de forma que, no Brasil, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) indica que os fabricantes e importadores de pneus são designados como responsáveis pelo descarte adequado dos pneus quando estes atingirem o fim de sua vida útil, enaltecendo o processo de gerenciamento através da Logística Reversa, proibindo a destinação final desses resíduos em aterros desde 1999 (CONAMA, 2009).

Embora existam legislações nacionais específicas sobre a temática de resíduos sólidos pneumáticos, observa-se a falta de políticas públicas estaduais ou municipais que versem e incentivem a temática no âmbito regional, ou local. Vê-se como possível a elaboração de legislações que criem incentivos voltados especificamente para empresas que executam formas de ampliação do ciclo de vida dos pneus, através das práticas de destinação ambientalmente adequadas do pós-consumo, tais como a reutilização e a reciclagem dos pneus usados e/ou inservíveis. Dentre todos os estados da federação nacional, apenas três da região Norte brasileira nunca registram a execução do gerenciamento da logística reversa dos resíduos pneumáticos, são os estados do Acre, Amapá e Roraima.

Considera-se a consolidação de dados desenvolvido nessa pesquisa um relevante serviço prestado, pois os dados podem ser utilizados de diversas formas, tais como conhecer o perfil nacional e regional, ou ainda, poderá facilitar possíveis estudos de estimativa da quantidade de resíduo de pneus e/ou para desenvolver projetos de expansão da logística reversa e avanços sustentáveis.

Estima-se que os dados aqui compilados são informações úteis para setores público e privado no planejamento urbano e saneamento. Assim como contribui para a literatura de desempenho de logística reversa, ao passo que os resultados deste estudo podem ser empregados para auxiliar a tomada de decisões de negócios em relação à adoção e uso de estratégias de logística reversa de resíduos pneumáticos executada pelas organizações.

Para futuras pesquisas, sugere-se: estender o estudo numa abordagem municipal e ou/local, e ou organizacional, propondo-se desenvolver pesquisa diretamente com os agentes que executam o gerenciamento dos pneus inservíveis e analisar a percepção da sociedade frente a problemática ambiental

2.6. REFERÊNCIAS

- ABRELPE. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil - 2004**. 2004. Disponível em: <https://abrelpe.org.br/download-panorama-2004/>. Acesso em: 16 mar 2021.
- ABRELPE. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil: 2018/2019**. 2019. Disponível em: <https://abrelpe.org.br/panorama/>. Acesso em: 20/08/2020.
- Associação Brasileira de Importadores e Distribuidores de Pneus - ABIDIP. **Institucional**. 2021. Disponível em: <https://abidip.com.br/>. Acesso em: 21 nov.2021.
- BITTENCOURT, E. S. **Metabolismo socioeconômico dos resíduos sólidos: um modelo de análise através de equações estruturais de pneus em fim de vida**. 2021. 167 p. Tese (Doutorado em Engenharia Industrial) — Universidade Federal da Bahia. Disponível em: <https://repositorio.ufba.br/handle/ri/33089>. Acesso em: 21 nov. 2021.
- BOUZON, M. *et al.* Identification and analysis of reverse logistics barriers using fuzzy Delphi method and AHP. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 108, p. 182 — 197, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2015.05.021>. Acesso em: 02 maio 2021.
- BRASIL. Lei 12.305/2010 - Política Nacional de Resíduos Sólidos. **Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos**, Brasília, Agosto 2010. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/residuos-solidos/politica-nacional-de-residuos-solidos>.
- Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Resolução Nº 416/09. Brasília, 2009.
- DANIEL MARTÍNEZ, J. *et al.* **Waste tyre pyrolysis - A review**. v. 23. July, p. 179 – 213, 2013.
- DAS, S.; BHATTACHARYYA, B. K. **Optimization of municipal solid waste collection and transportation routes**. v. 43, n. September, p. 9 – 18, 2015.
- ETRMA - European Tyre Rubber Manufacturers Association. Press-release-circular-economy-major-industries-call-for-common-eu-minimum-requirements-for-epr-schemes-in-europe. 2015. Disponível em: <https://www.etrma.org/wp-content/uploads/2019/09/press-release-circular-economy-major-industries-call-for-common-eu-minimum-requirements-for-epr-schemes-in-europe.pdf>. Acesso em: 2 maio 2021.
- FLEISCHMANN, M. *et al.* **A characterisation of logistics networks for product recovery**. v. 28, n. 6, p. 653 — 666, 2000.
- GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. São Paulo(SP): Atlas, 2008.
- GUERRERO, L. A.; MAAS, G.; HOGLAND, W. **Solid waste management challenges for cities in developing countries**. v. 33, n. 1, p. 220 — 232, 1 2013. Acesso em: 2021-02-22T00:00:00+00:00.

IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Instrução normativa Nº 09/2021. 2021. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/component/legislacao/?view=legislacao&legislacao=138770>.

IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Relatório de Pneumáticos Out/2009 – Dez/2010 (Versão 2) 2011** - Dados apresentados no Relatório de Pneumáticos – Resolução CONAMA nº. 416/2009 do Cadastro Técnico Federal. p. 1 – 11, 2011. Disponível em: <http://ibama.gov.br/phocadownload/pneus/relatoriopneumaticos/ibama-relatoriopneumaticos-2011.pdf>. Acesso em: 2 maio 2021.

IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Relatório de Pneumáticos Ano 2012 - Dados apresentados no Relatório de Pneumáticos: Resolução CONAMA nº. 416/2009 (relativo ao ano de 2011)**. p. 1 – 14, 2012. Disponível em: <http://ibama.gov.br/phocadownload/pneus/relatoriopneumaticos/ibamarelatorio-pneumaticos-2012.pdf>. Acesso em: 2 maio 2021.

IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Relatório de Pneumáticos 2013 - Resolução CONAMA nº 416/09**. p. 1 – 20, 2013. Disponível em: <http://ibama.gov.br/phocadownload/pneus/relatoriopneumaticos/ibama-relatorio-pneumaticos-2013.pdf>. Acesso em: 2 maio 2021.

IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Relatório de Pneumáticos 2014 - Resolução CONAMA nº 416/09**. p. 1 – 76, 2014. Disponível em: <http://ibama.gov.br/phocadownload/pneus/relatoriopneumaticos/ibama-relatorio-pneumaticos-2014.pdf>. Acesso em: 2 maio 2021.

IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Relatório de Pneumáticos 2015 – RESOLUÇÃO CONAMA Nº 416/09**. p. 1 – 75, 2015. Disponível em: <http://ibama.gov.br/phocadownload/pneus/relatoriopneumaticos/ibama-relatorio-pneumaticos-2015.pdf>. Acesso em: 2 maio 2021.

IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Relatório de Pneumáticos: Resolução Conama nº 416/09 - 2017 (ano-base 2016)**. p. 1 – 80, 2017. Disponível em: <http://ibama.gov.br/phocadownload/pneus/relatoriopneumaticos/ibama-relatorio-pneumaticos-2017-nov.pdf>. Acesso em: 2 maio 2021.

IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Relatório de Pneumáticos: Resolução Conama nº 416/09 -2018 (ano-base 2017)**. p. 1 – 76, 2018. Disponível em: http://ibama.gov.br/phocadownload/pneus/relatoriopneumaticos/ibama-relatoriopneumaticos-2018_atualizado_em_novembro_2018.pdf. Acesso em: 2 maio 2021

IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Relatório de Pneumáticos - Resolução Conama nº 416/09 2019 (ano-base 2018)**. p. 1

– 80, 2019. Disponível em:

<http://ibama.gov.br/phocadownload/pneus/relatoriopneumaticos/2019-12-10-Relatorio-Pneumaticos-2019-final.pdf>. Acesso em: 02 mai. 2021.

IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Relatório de Pneumáticos: Resolução Conama nº 416/09 - 2020 (ano-base 2019)**. Relatório, Brasília, p. 1 – 87, 2020. Disponível em:

http://ibama.gov.br/phocadownload/pneus/relatoriopneumaticos/2021-03-03-%20Ibama-Relatorio_Pneumaticos_2020_com_capa____terceira_versao.pdf. Acesso em: 2 maio 2021.

JANG, J. W. *et al.* **Discarded tire recycling practices in the United States, Japan and Korea**. v. 22, n. 1-2, p. 1 – 14, 1998.

LEITE, D. T. B. D. S. **Indicadores de sustentabilidade**: subsídios para o gerenciamento da logística reversa de pós-consumo de pneus inservíveis no município de Aracaju/SE. 2017. 131 p. Tese (o Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente) — Universidade Federal de Sergipe. Disponível em: https://ri.ufs.br/jspui/bitstream/riufs/6852/2/DANIELLE_THAIS_BARROS_S_LEITE.pdf. Acesso em: 4 dez 2021.

L.SHULMAN, V. Chapter 26 - Tire Recycling. **Waste (Second Edition)**, p. 489 – 515, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815060-3:00026-8>. Acesso em: 21 nov. 2021.

MILANEZ, B.; BÜHRS, T. Extended producer responsibility in Brazil: the case of tyre waste. **Journal of Cleaner Production**, v. 17, n. 6, p. 608 – 615, Abril 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2008.10.004>. Acesso em: 2 maio 2021.

RECICLANIP, Reciclagem da Associação Nacional da Indústria de Pneus **Ciclo de vida do pneu**. 2021. Disponível em: <https://www.reciclanip.org.br/>. Acesso em: 2 maio 2021.

RESENDE, E. L. *et al.* **Reverse distribution channels in recycling of tires**. 2004. Dissertação (Mestrado) — Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Disponível em: http://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/Busca_etds.php?strSecao=resultado&nrSeq=5284@1.

SIENKIEWICZ, M. *et al.* Progress in used tyres management in the European Union: A review, **Waste Management**, Volume 32, Issue 10, 2012, Pages 1742-1751, ISSN 0956-053X. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X1200219X>. Acesso em 02 maio 2021.

SINIR. **Painel Resíduos Sólidos Urbanos**. 2017. On-line. Disponível em: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoibGVkYTRiZTktMGUwZS00OWFiLTgwNWYtNGQ3Y2JlZmJhYzFiliwidCI6IjJmY2ZmE5LTNmO> Acesso em: 26 maio/2021.

TAI, J. *et al.* **Municipal solid waste source-separated collection in China: A comparative analysis**. v. 31, n. 8, p. 1673 – 1682, 2011.

YIN, R. K. **Estudo de casos: Planejamentos e métodos**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001. 205 p. ISBN 85-7307-852-9.

3. ARTIGO 2 - RESÍDUOS PNEUMÁTICOS: UM ENFOQUE DA LOGÍSTICA REVERSA NO INTERIOR DO ESTADO DO CEARÁ

RESUMO

O gerenciamento dos resíduos pneumáticos, por meio da logística reversa proporciona o retorno dos resíduos como matéria prima para produção de novos produtos sustentáveis, minimiza impactos negativos, gera emprego e renda, promove a conscientização social, aumenta a qualidade do meio natural, fomenta a responsabilidade compartilhada e a execução de uma gestão integrada e participativa. Para tanto faz-se necessária uma visão multidisciplinar fortalecedora da gestão e de incentivo às práticas de logística reversa para vencer as dificuldades enfrentadas pelas organizações que desempenham o gerenciamento de resíduos sólidos. Dessa forma, essa pesquisa objetiva analisar a logística reversa aplicada aos resíduos pneumáticos gerenciados no município de Juazeiro do Norte e em dois Consórcios Municipais de Manejo dos Resíduos Sólidos, o consórcio CORES e o CONCESTE. Assim, desenvolveu-se um estudo de caso aplicando um questionário semiestruturado nas organizações que gerenciam os resíduos pneumáticos, e como resultados observou-se que o modelo de consórcios de resíduos sólidos diminui algumas dificuldades da gestão. No entanto, a alocação dos pontos de coleta é um grande problema na implementação e execução da logística reversa de pneus inservíveis. Observou-se ainda que a logística reversa de pneumáticos no município de Juazeiro do Norte está bem consolidada, porém nos consórcios está menos avançada.

Palavras-chave: Gestão ambiental. Logística reversa. Pneus. Resíduos pneumáticos.

ABSTRACT:

The management of pneumatic waste through reverse logistics provides the return of waste as a raw material for the production of new sustainable products, minimizes negative impacts, generates employment and income, promotes social awareness, increases the quality of the natural environment, encourages responsibility shared and the execution of an integrated and participative management. Therefore, a multidisciplinary vision is needed to strengthen management and encourage reverse logistics practices to overcome the difficulties faced by organizations that carry out solid waste management. Thus, this research aims to analyze the reverse logistics applied to pneumatic waste managed in the city of Juazeiro do Norte and in two Municipal Solid Waste Management Consortia, the CORES and CONCESTE consortium. Thus, a case study was developed using a semi-structured questionnaire in organizations that manage pneumatic waste, and as a result it was observed that the solid waste consortium model problem in the implementation and execution of waste tire reverse logistics. It was also observed that the reverse logistics of tires in the city of Juazeiro do Norte is well consolidated, but in consortia it is less advanced.

Keywords: Environmental management. Reverse logistic. Tires. Pneumatic waste.

3.1. INTRODUÇÃO

A gestão ambientalmente correta dos Resíduos Sólidos (RS) é rotulada como um dos maiores desafios para muitos municípios de países desenvolvidos e em desenvolvimento, pois os índices crescentes de população, prosperidade e urbanização, favorecem a geração de quantidades crescentes desses (CHERUBINI *et al.*, 2009). Assim, a Logística Reversa (LR)

surge como uma estratégia crucial para enfrentar os desafios relacionados à coleta de resíduos, tornando-se uma das atividades cruciais na gestão e *design* da cadeia de suprimentos (GOVINDAN *et al.*, 2015) e (GOVINDAN; SOLEIMANI, 2017) e como uma solução para promover ações de gestão ambiental.

De acordo com Bouzon *et al.* (2018), há várias décadas a LR é aplicada em níveis avançados em muitos países desenvolvidos, complementando a cadeia de suprimentos, principalmente devido a questões legislativas. No entanto, os autores analisam que a LR ainda está em um estágio inicial de aplicação em economias emergentes como o Brasil. A LR é instituída nacionalmente através da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) e aplica-se para diversos tipos de resíduos, tais como: pneus, agrotóxicos e suas embalagens, eletrônicos, lâmpadas fluorescentes, óleos lubrificantes, pilhas, baterias e outros (BRASIL, 2010). Nesse artigo, o foco do discurso será voltado para os resíduos de pneus, também chamados de pneumáticos inservíveis.

No Brasil, a Resolução CONAMA n.º 416 dispõe sobre a prevenção à degradação ambiental causada por pneus inservíveis e sua destinação ambientalmente adequada, estabelecendo que em todos os municípios com população superior a cem mil habitantes é obrigatória a implantação de pontos de coleta de pneus inservíveis. Estabelece ainda que os fabricantes e os importadores de pneus novos com peso superior a dois quilos são obrigados a coletar e dar destinação adequada aos pneus inservíveis gerados no país, devendo assim implementar a coleta desses juntamente com os distribuidores, revendedores, destinadores, consumidores finais de pneus, e o Poder Público (BRASIL, 2009).

Fagundes *et al.* (2017) ressaltam haver uma grande importância econômica relacionada ao início do ciclo de vida dos pneus e que pouca atenção é dada no fim de vida destes, rotulando os resíduos de pneus como uma preocupação ambiental. Completam que há necessidade do gerenciamento por logística reversa ser aplicada aos resíduos pneumáticos para que estes possam receber tratamento adequado impedindo o descarte incorreto e minimizando os danos ao meio ambiente e à sociedade.

Os materiais empregados na produção do pneu novo despertam grande atenção quando estes chegam ao fim da vida útil. Os pneus podem passar até 600 anos para se decompor completamente, sendo caracterizados como de difícil decomposição e não biodegradáveis. Ademais, em função da sua forma e tamanho, geram dificuldade no processo de gerenciamento, sendo caracterizados como estruturas difíceis de serem gerenciadas ao fim de sua vida útil (RESENDE, 2004).

Quando descartados inadequadamente os pneus usados são motivo de grande preocupação para as autoridades municipais, pois podem causar efeitos nocivos à saúde humana e ao meio ambiente por servirem como criadouros de mosquitos e demais vetores de doenças, e por considerarem o potencial de inflamabilidade dos pneus. Os riscos ecológicos e ambientais podem ser minimizados através das práticas de recauchutagem, reciclagem e combustão para energia térmica, indicando-as como tecnologias ambientalmente viáveis para utilização de pneus inservíveis e maximizadoras da conservação dos recursos naturais (JANG, *et al.*, 1998).

Os resíduos sólidos requerem em sua gestão uma visão multidisciplinar pelos governos nacionais, regionais e municipais, de forma que uma gestão baseada apenas em aterro (descarte de baixo custo) deve ser superada, iniciando com a execução da separação dos resíduos na fonte geradora como forma de otimização da coleta destes, fomentando esforços para reintegrar os produtos pós consumo nos processos de produção industrial novamente. (FLEISCHMANN, *et al* 2000).

A gestão de resíduos sólidos a nível municipal é incentivada pela PNRS de várias formas, dentre elas, a possibilidade de gestão através de consórcios municipais conforme o Art. 11º, parágrafo único, onde ressalta-se que incumbe aos estados brasileiros apoiar e priorizar soluções consorciadas ou compartilhadas entre 2 (dois) ou mais municípios. Além do mais, no art. 18º, parágrafo 1º, inciso I da PNRS, consta que terão prioridade no acesso aos recursos da União os municípios que optarem por soluções consorciadas intermunicipais para a gestão de resíduos sólidos (BRASIL, 2010).

Corroborando com o entendimento, no ano de 2017, o governo do Estado do Ceará desenvolveu pesquisa técnica no território estadual de forma regionalizada, integrada e participativa junto à 81 municípios distribuídos territorialmente nas bacias hidrográficas do Acaraú, Metropolitana e Salgado. No referido estudo todos os resíduos sólidos urbanos (resíduos domiciliares orgânicos e secos), resíduos da construção civil, resíduos verdes e volumosos, e resíduos de logística reversa foram alvo do estudo intitulado de “*Plano de Coletas Seletivas Múltiplas*”, que constatou a situação e norteou ações a serem tomadas pelos municípios, dentre elas a criação de consórcios públicos regionais. Esse processo foi nomeado de “políticas pré-aterro”, visando minimizar o quantitativo de resíduos destinados aos lixões municipais, enaltecendo a destinação ambientalmente adequada por meio das “coletas seletivas múltiplas” (CEARÁ, 2017).

Assim, estimulado a promover a gestão dos resíduos sólidos de forma regionalizada, o governo do Estado do Ceará, através da Secretaria Estadual do Meio Ambiente

(SEMA), pôs em prática o Plano Regionalizado para a Implementação de Coletas Seletivas da Bacia Hidrográfica do Salgado na região do Cariri cearense, e até o momento encontram-se em execução dois Consórcios de Manejo dos Resíduos Sólidos, o Consórcio CORES, localizado na região do Cariri Oriental, e o Consórcio CONCESTE, localizado na região do Cariri Oeste (CEARÁ, 2017). Os referidos consórcios têm como base a Política Estadual de Resíduos Sólidos (PERS) do estado do Ceará, instituída pela Lei estadual nº 16.032/2016, que revogou a anterior PERS de 2001 (CEARÁ, 2016). Não foi a primeira vez que o governo do estado do Ceará incentivou propostas de criação de consórcios públicos voltados para a prestação de serviços de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos urbanos. Atualmente, os consórcios estão sendo incentivados para promover as coletas seletivas municipais e que apenas o rejeito seja encaminhado para aterros sanitários, visando reduzir ao máximo o volume de resíduos que está sendo enterrado nos aterros sanitários ou nos mais de 300 lixões existentes no Ceará. (CEARÁ, 2021).

Em pesquisa sobre a execução da logística reversa dos resíduos pneumáticos na cidade de Sobral/CE, os donos de borracharias descartam os pneus inservíveis gerados, colocando-os na calçada do estabelecimento ou em contêineres geridos pelo poder público, para posterior coleta regular, e tal ação favorece a proliferação de doenças, ocasiona poluição visual e pode provocar acidentes por obstrução do passeio público (SPREAFICO *et al.*, 2012).

De forma semelhante acontece na cidade de Fortaleza, capital do Ceará, sendo estas ações errôneas fruto do desconhecimento de pequenos borracheiros e usuários, pois as empresas de ônibus e as grandes borracharias destinam os pneus no único ponto de coleta da RECICLANIP instalado na cidade, e que a destinação final é o coprocessamento em uma cimenteira do município de Sobral (AQUINO *et al.*, 2019).

Na área da pesquisa experimental local destaca-se um estudo desenvolvido no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Campus Fortaleza, que demonstra ser viável a aplicação de resíduo de borracha de pneus inservíveis incorporados ao concreto para ser utilizado no setor da construção civil (MARQUES *et al.*, 2019).

Na porção sul do referido estado, a temática é uma lacuna pouco estudada, dessa forma, o objetivo dessa pesquisa será descrever e analisar o gerenciamento aplicado por meio da logística reversa aos resíduos pneumáticos gerados em municípios localizados no interior do estado do Ceará, porção sul.

O método de pesquisa selecionado é o estudo de caso, associado a análise documental e levantamento bibliográfico. O lócus de observação do estudo de caso são 16

municípios integrantes da Macrorregião do Cariri cearense, visando contribuir para descrição e compreensão da prática de gerenciamento da cadeia de logística reversa pós-consumo de pneus inservíveis locais. A pesquisa se deu também por meio de questionário semiestruturado aplicado diretamente nas organizações que gerenciam os resíduos pneumáticos dentro do espaço amostral delimitado, no caso, a Autarquia Municipal de Meio Ambiente (AMAJU) no município de Juazeiro do Norte/CE e com os consórcios CORES que reúne municípios da porção oriental do sul do estado do Ceará e CONCEST para os municípios consorciados da porção oeste do sul do estado.

3.2. REFERENCIAL TEÓRICO

3.2.1. *A logística reversa de resíduos pneumáticos*

Govindan *et al.* (2015) descrevem que a LR começa com os usuários finais e, posteriormente, os produtos usados/produto de retorno são coletados ao fim da vida útil e seguem para diferentes formas de transformação, possibilitando a produção de um produto novo, seja através da reciclagem, remanufatura ou reparos, e finalmente as peças usadas que não puderem ser aproveitadas seguem para o descarte final.

Conforme Silva *et al.* (2013), a primeira característica que pode ser observada na implantação da LR é a possível geração de materiais classificados como secundários, identificados como produto pronto para uso como matéria-prima no processo produtivo novamente. Leite (2003, p. 5-6) resume que “os canais de distribuição reversos de pós-consumo são constituídos pelo fluxo reverso de uma parcela de produtos e materiais constituintes originados no descarte de produtos após finalizada sua utilidade original e que retornam ao ciclo produtivo de alguma maneira”. Como saldo do canal de distribuição elenca-se dois subsistemas reversos: os canais reversos de reciclagem e os canais reversos de reuso.

A LR é parte crucial da cadeia de suprimentos pois envolve várias operações, como: devolução de produtos para reutilização direta (revenda), atualização (reparo, reforma e remanufatura), recuperação (canibalização e reciclagem) e descarte final (incineração e aterro) (GOVINDAN *et al.*, 2015) e (GOVINDAN; SOLEIMANI, 2017).

Khor *et al.* (2016) destacam que, em geral, as empresas expressam incerteza na implementação de práticas de LR pelo motivo de seus benefícios econômicos não serem claros, mas destaca que a lucratividade das atividades de descarte de produtos é promissora quando acompanhada por estratégias bem planejadas. Concluindo que a implementação da logística

reversa é uma iniciativa verde significativa que pode levar a medidas de desempenho aumentadas. O progresso feito nos últimos anos na gestão de resíduos de polímeros fez com que os pneus usados começassem a ser percebidos como uma fonte potencial de matérias-primas valiosas (SIENKIEWICZ *et al.*, 2012)

A LR dos resíduos pneumáticos no Brasil visa recolher e reutilizar os pneus inservíveis, implantando-os dentro do ciclo produtivo novamente, seja um ciclo na fabricação de novos pneus ou na fabricação de outros produtos novos, assegurando a sustentabilidade do processo de coleta e destinação de pneus inservíveis em todas as regiões do país.

Pehlken e Müller (2009) descrevem que, em geral, os materiais típicos utilizados na fabricação dos pneus são: borracha natural, borracha sintética, negro de fumo, aço, tecido, enchimentos, aceleradores, antiozonantes etc. Ainda de acordo com os mesmos autores, a borracha é o material de maior proporção no processo de fabricação do pneu novo, representando de 70-80% da composição total, no entanto, cada fabricante de pneu determina quantitativos percentuais diferentes para composição do seu produto, de forma que as fórmulas exatas utilizadas nas composições dos pneus são mantidas em segredo pelas empresas.

Em complemento, a Associação Nacional da Indústria Pneumática (ANIP) expõe que a proporção dos itens empregados na composição do pneu varia de acordo com o seu uso, mas em geral as matérias-primas dos pneus são: borracha natural, borracha sintética, derivados de petróleo, como negro de fumo ou carbono amorfo, somado com vários outros produtos químicos, catalisadores, plastificantes e cargas reforçantes, que se completa com a estrutura resistente de lonas emborrachadas de cordonéis de aço, de náilon ou outros materiais como o kevlar, que são ajustados numa complexa arquitetura (ANIP, 2021).

Para Pehlken e Müller (2009), a borracha derivada de pneus inservíveis pode ser usada em outros produtos e resultar em novas demandas de qualidade. Joseph Fiksel *et al.* (2011) elencam as seguintes possibilidades de empregar o pneu em outros processos:

- uso de pneus inservíveis como combustível derivado de pneus: produção de cimento, caldeiras e incineradores de resíduos em energia;
- aplicações de engenharia civil: são para construção e operação de aterros sanitários, campos de drenagem de sistemas sépticos e aterros ou enchimentos de rodovias;
- aplicações de borracha fragmentada: produção de grama artificial, fabricação de produtos moldados, produção de asfalto e reforma de pneus.

Os produtores de pneus provavelmente não estariam interessados em recuperar e reciclar pneus se não existisse lei exigindo (SIENKIEWICZ *et al.*, 2012), mostrando a

sobreposição da visão econômica sobre o ambiental. Já quanto à gestão dos resíduos pneumáticos no âmbito municipal, além do quantitativo crescente na geração de resíduos, Guerrero *et al.* (2013) identificam os elevados custos ao orçamento dos municípios de países em desenvolvimento como um dos principais desafios das autoridades municipais responsáveis pela gestão de resíduos.

Chung e Lo (2008) elencam fatores que prejudicam a gestão de resíduos ambientalmente correta em cidades chinesas, tais como: as autoridades municipais não serem profissionalmente competentes em seus empregos; as autoridades locais de resíduos serem geralmente subfinanciadas e prejudicarem o desempenho das instruções dos gestores; a comunidade não respeitar o trabalho local de gerenciamento de resíduos; e os usuários não estarem dispostos a pagar pelo serviço de coleta de lixo.

Corroborando com os fatores elencados acima, Bassam Mrayyan e Moshrik Hamdi (2006) apontam os seguintes obstáculos para melhorar a gestão de resíduos para cidade de Zarqa, na Jordânia: restrições financeiras; baixa alfabetização das pessoas em gestão de resíduos; falta de cooperação entre o setor público e privado; e disponibilidade limitada de pessoal treinado e qualificado.

Siqueira (2020) aponta que municípios pequenos podem superar a fragilidade da gestão dos resíduos sólidos quando se associam, de preferência com os de maior porte, pois, consórcios municipais são órgão preparado tecnicamente para gerir os serviços por meio de equipes técnicas permanentes e capacitadas para gerir instalações como os pontos de coleta de resíduos; galpões de triagem; aterros; dentre outras.

3.2.2. *Pneu inservível*

Dentre as características dos pneus, existe uma diversidade de tamanhos, tipos e modelos para diferentes veículos e usos. No Brasil, segundo Sato e Da Silva (2017), o aumento descontrolado do número de veículos tornou-se um grande desafio para as políticas públicas e o planejamento. Conforme os autores, a situação promove fragilidades nos sistemas sociais, ambientais e econômico, tais como a tendência de crescimento no número de veículos, os inevitáveis congestionamentos e os prejuízos econômicos do tráfego pesado, perda da qualidade de vida, o impacto das mudanças climáticas e as dificuldades em implantar políticas públicas promotoras de soluções de longo prazo.

Para Leite (2017), os tipos de um pneu são determinados de acordo com os seguintes parâmetros: durabilidade/resistência; a vida útil/ desgaste; e o sistema de

codificação/medidas físicas. Características essas que justificam o fato de mesmo posterior a vida útil o resíduo de pneu demorar muito tempo para se decompor, até 600 anos (RESENDE, 2004).

Foi publicado no anuário do Ceará 2020-2021, que no ano de 2018 a frota de veículos no Nordeste contou com 17.125.640 de unidades, e o estado do Ceará contou com 3.113.596 unidades, correspondendo percentualmente a 3,15% da frota de veículos nacional (FUNDAÇÃO DEMÓCRITO ROCHA, 2021).

Para essa quantidade de veículos, faz-se necessário muitos pneus, conseqüentemente grande quantidade de matéria prima será empregada na fabricação destes que, ao fim da vida útil, serão transformados em resíduos pneumáticos. A ANIP publica regularmente em formato de infográficos e relatórios alguns dados sobre venda, unidades fabris, e identifica quem são as empresas associadas.

Tabela 3 - Principais canais de venda de pneus novos de acordo com a ANIP

PRINCIPAIS CANAIS DE VENDAS				
CANAIS	2017	2018	2019	2020
REPOSIÇÃO	46.111.643	44.212.624	43.646.007	40.433.729
MONTADORA	13.139.519	15.173.794	15.840.910	16.345.531
EXPORTAÇÃO	17.558.573	14.812.582	14.854.013	11.190.023
Total	76.809.735	74.199.000	74.340.930	67.969.283

Fonte: Adaptado de ANIP- Dados gerais-Vendas totais (2021).

Os principais canais de venda de pneus novos são: a reposição, as montadoras e a exportação. Com base nos dados da ANIP (2021), apresenta-se na **Tabela 3** os quantitativos de pneus novos colocados para uso por meio dos principais canais de vendas nos anos de 2017 até 2020. Observa-se que em 2020 totalizaram 67.969.283 unidades de pneus novos vendidos.

3.3. METODOLOGIA

Essa pesquisa é de natureza bibliográfica e de campo, com caráter exploratório descritivo e abordagem quantitativa. Dessa forma, para descrever o fenômeno social da logística reversa definiu-se como métodos de pesquisa: o estudo de caso, a pesquisa bibliográfica e a análise documental.

Sobre o método estudo de caso, Yin (2015) o descreve como a investigação de um fenômeno real dentro de um contexto praticado, embora os limites entre o fenômeno e o contexto não estejam claramente definidos. O mesmo autor evidencia que no processo

investigativo poderão ser encontradas mais variáveis de interesse do que pontos de dados, obtendo-se como resultados múltiplas fontes de evidências que precisarão do embasamento teórico para orientar a coleta e a análise dos dados. O lócus de observação do fenômeno que será investigado nesta pesquisa são alguns municípios integrantes da Macrorregião do Cariri cearense, visando contribuir para descrição e compreensão da prática de gerenciamento da cadeia de logística reversa de pneus inservíveis locais.

Os estudos disponíveis na literatura científica subsidiaram a pesquisa bibliográfica, que para Gil (2002) são em grande número e proporcionam à pesquisadora a vantagem de conhecer uma gama ampla de fenômenos de ocorrência em vários territórios.

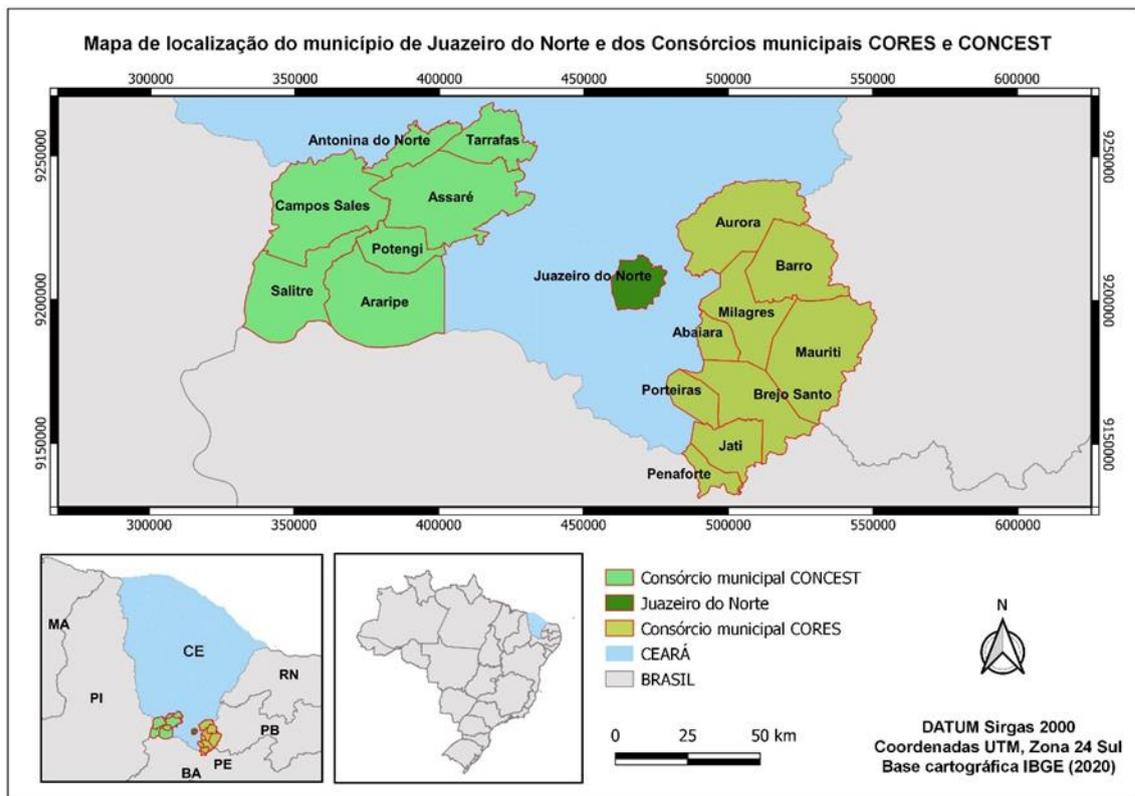
Ademais, a análise documental será empregada tendo como fonte de informações: relatórios, respostas via ofício e/ou entrevista semiestruturada realizadas junto aos gestores responsáveis. Tal análise de conteúdo terá por objetivo descrever e interpretar o conteúdo das informações obtidas (YIN, 2015).

Todas as informações foram coletadas por meio de um questionário semiestruturado composto por 10 questões, enviado por e-mail, o qual subsidiou a elaboração das respostas pelas organizações que executam a logística reversa dos resíduos pneumáticos locais. As questões solicitavam informações como: o tempo de execução da logística reversa para os resíduos pneumáticos; sobre a existência de pontos de coleta; quantitativos geral de destinação; local de destinação final; nível de escolaridade dos profissionais que trabalham diretamente com a gestão de resíduos de pneus; dificuldades; e solicitação de demais informações e documentos relevantes.

O estudo foi desenvolvido nos anos de 2020 e 2021, no município de Juazeiro do Norte e em dois consórcios Intermunicipais, um da Região do Cariri Oriental e o outro da Região do Cariri Oeste, onde o questionário semiestruturado foi aplicado e muitas informações sobre o gerenciamento dos pneumáticos inservíveis foram prontamente repassadas pela AMAJU e pela administração dos consórcios CORES e CONCESTE.

O campo amostral localiza-se na porção sul do estado do Ceará, e refere-se ao quantitativo de 16 municípios. Os consórcios são compostos pelos municípios identificados na **Figura 1**, que apresenta a localização espacial territorial do espaço amostral definido para a pesquisa.

Figura 1 - Mapa de localização do espaço amostral.



Elaboração: Autora (2021). Fonte: IBGE (2020).

* Delimitação territorial do município de Juazeiro do Norte e dos Consórcios CORES e CONCEST.

3.4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Esta seção descreve as etapas de execução da logística reversa empregada na destinação ambientalmente adequada dos pneus em fim de vida útil gerados nos 16 municípios integrantes do espaço amostral delimitado para essa pesquisa.

3.4.1. O município de Juazeiro do Norte

Nesse município, a pesquisa foi desenvolvida junto a Autarquia Municipal de Meio Ambiente (AMAJU), órgão local ligado a RECECLANIP e que acompanha a execução da LR municipal. Conforme o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) o município de Juazeiro do Norte possui aproximadamente 278.264 habitantes, conforme estimativa traçada para ano de 2021 (IBGE, 2021).

O município de Juazeiro do Norte, através da Prefeitura Municipal e da AMAJU, promove a logística reversa dos pneumáticos inservíveis disponibilizando um local intitulado

de Ecoponto, para que os municípios e os empreendimentos entreguem de forma voluntária seus resíduos pneumáticos. O Ecoponto (Figura 2) é gerenciado pela Gerência de Resíduos Sólidos Operação e Destinação Final da AMAJU, em parceria com um catador de materiais recicláveis, localizado na rua do Seminário, número 458, bairro Franciscanos, Juazeiro do Norte-CE (AMAJU, 2021).

Figura 2 - Foto da fachada do ECOPONTO para entrega voluntária de resíduos pneumáticos no município de Juazeiro do Norte-CE



Fonte: Autora (junho de 2020).

No entanto, observou-se que o IBAMA e a RECICLANIP precisam atualizar a informação divulgada referente ao ponto de coleta de resíduos pneumáticos do município, pois o último Relatório de Pneumáticos de 2020 indica que Juazeiro do Norte possui três pontos de coletas de pneus inservíveis cadastrados no sistema de controle do IBAMA, localizados nos seguintes endereços: Avenida Leão Sampaio, 08; Avenida Virgílio Távora, S/N – Aeroporto; Avenida Padre Cicero, 1693 – Centro (IBAMA, 2021). Em uma busca rápida na *internet*, no *web site* da RECICLANIP, observou-se que o endereço indicado como sede do ponto de coleta no município de Juazeiro do Norte também não condiz com a realidade atual ao informar que o ponto de coleta de resíduos pneumáticos do município está localizado no endereço: Av. Virgílio Távora, s/n – Aeroporto (RECICLANIP, 2021).

No ECOPONTO, pode-se citar que, de forma geral, são realizadas atividades de gerenciamento como: recebimento dos pneus inservíveis, acondicionamento e armazenamento temporário, posterior carregamento do caminhão para coleta e transporte dos resíduos pneumáticos realizada pela rede nacional de logística reversa da RECICLANIP.

A RECICLANIP entregou a AMAJU relatórios indicando o quantitativo de toneladas de resíduos pneumáticos coletados nos anos de 2016 a abril de 2019 na cidade de Juazeiro do Norte. Os anos de 2016 e 2017 correspondem, respectivamente, as quantidades aproximadas de 202 (duzentos e duas) toneladas e 239 (duzentos e trinta e nove) toneladas de inservíveis que tiveram uma destinação final ambientalmente adequada, através da logística reversa. Já em 2018, o volume de resíduos de pneus retirados do ponto de coleta de Juazeiro do Norte somou aproximadamente 117 (cento e dezessete) toneladas. De acordo com a AMAJU (2021) foram destinados corretamente o quantitativo de 219 (duzentas e dezenove) toneladas no ano de 2019, o quantitativo de 80 (oitenta) toneladas de resíduos pneumáticos em 2020, e até meados de setembro de 2021 o quantitativo de 92 (noventa e duas) toneladas de resíduos pneumáticos já haviam sido destinados corretamente através da execução da logística reversa de pneus. A **Tabela 4** apresenta os quantitativos de resíduos pneumáticos coletados pela RECICLANIP no município de Juazeiro do Norte-CE.

Traçando um comparativo dos resíduos de pneus destinados corretamente a nível estadual e municipal, observa-se que o município de Juazeiro do Norte correspondeu a expressivo percentual de 27,2% dos resíduos de pneus destinados corretamente no estado do Ceará no ano de 2017.

Tabela 4 - Quantitativos referentes aos saldos de destinação ambientalmente adequada para os resíduos pneumáticos gerados a nível municipal em Juazeiro do Norte-CE

QUANTITATIVO MUNICIPAL –JUAZEIRO DO NORTE-CE		
Ano de referência dos dados	Saldo de Destinação Total (em t.)	Percentual em relação ao quantitativo de resíduos pneumáticos destinados corretamente no estado do Ceará (em %)
2016	202,06	9,8
2017	239,12	27,2
2018	117,61	1,8
2019	219	12,2
2020	80	4,5
TOTAL	857,79	

Elaboração: A autora (2021). Fonte: Adaptado dos relatórios emitidos pela RECICLANIP (2018 e 2019) e da AMAJU (2021).

3.4.2. Consórcio CORES

O Consórcio Público de Manejo dos Resíduos Sólidos da Região Cariri Oriental

(CORES) é formado por 09 (nove) municípios, sendo eles: Abaiara, Aurora, Barro, Brejo Santo, Jati, Mauriti, Milagres, Penaforte e Porteiras (CORES, 2021). E nenhum destes municípios possui quantidade de habitantes superior a 100 mil habitantes, conforme o IBGE (2021).

O CORES começou a gerenciar os resíduos pneumáticos no início em 2019, período em que firmou parceria com a Empresa Cidade Verde Ambiental responsável pela coleta, transporte e destinação final dos resíduos pneumáticos inservíveis gerados pelos municípios consorciados. Em sequência, os pneus e resíduos de borracha coletados são encaminhados para a Empresa CBL Ambiental, instalada no município de Feira de Santana – BA (CORES, 2021).

Quanto às coletas, o consórcio CORES esclarece que teve sua execução comprometida no início da Pandemia do COVID-19, mas que conseguiu reestabelecer a execução a partir de junho de 2020. Até setembro de 2021 o quantitativo de aproximadamente 41,3 (quarenta e um vírgula três) toneladas de resíduos pneumáticos foram destinados corretamente pelos municípios consorciados (CORES, 2021).

No município de Brejo Santo a coleta de pneus já acontecia desde o ano de 2013, através da rede de logística reversa da RECICLANIP, destinando os resíduos para a Empresa CBL Ambiental (CORES, 2020). Conforme esclarecido pelo CORES, a principal dificuldade atualmente consiste no local adequado para o armazenamento temporário dos pneus. Completa que a solução para sanar tal problema será a construção das centrais municipais de resíduos em cada município consorciado (CORES, 2021).

Ainda conforme informações repassadas pelo CORES (2020), antes mesmo da estruturação do consórcio já existia a coleta dos pneus por populares locais para fabricação de objetos de uso doméstico e rural como: jarros, cadeiras, cocheiras, dentre outros.

3.4.3. Consórcio CONCEST

O Consórcio Público de Manejo dos Resíduos Sólidos da Região Cariri Oeste (CONCEST) é formado por 07 (sete) municípios, sendo eles: Antonina do Norte, Araripe, Assaré, Campos Sales, Potengi, Salitre e Tarrafas (CONCEST, 2021). A estimativa do IBGE indica que nenhum destes municípios possui quantidade de habitantes superior a 100 mil habitantes (IBGE, 2021).

Ao solicitar informações referente ao gerenciamento dos resíduos pneumáticos nos municípios consorciados no CONCEST a superintendente prontamente respondeu ao questionário semiestruturado, esclarecendo informações importantes como as apresentadas a seguir.

Quanto ao gerenciamento dos resíduos pneumáticos, o consórcio CONCEST afirmou está realizando o levantamento de dados referente ao quantitativo dos resíduos de pneumáticos gerados por cada município, não tendo sido realizada nenhuma coleta de pneumáticos por intermédio do consórcio (CONCEST, 2021). Considera-se o levantamento e a estimativa de dados uma etapa de suma importância para projetar o local de armazenamento temporário e posteriormente firmar as parcerias com empresas coletoras e destinadoras finais de tais resíduos.

O Consórcio CONCEST (2021) esclarece que na execução da logística reversa dos pneus pós consumo, observa que a principal dificuldade é a fixação de parcerias com empresas que coletam o material, uma vez que os municípios pequenos normalmente não fazem parte das suas rotas de coletas, dificultando a adequação do fluxo dos resíduos de pneus para os municípios considerados pequenos geradores. O CONCEST complementa que considera a educação social um desafio a ser superado, pois tamanha é a importância do descarte adequado desse material e fazer parte do sistema de coleta.

3.4.4. Análise do gerenciamento de resíduos pneumáticos gerados no município de Juazeiro do Norte e nos consórcios CORES e CONCEST

Observou-se que o município de Juazeiro do Norte executa o gerenciamento dos resíduos de pneus através de uma logística reversa bem consolidada, estruturada e com muitos anos de execução. Diferentemente, o gerenciamento dos resíduos pneumáticos executados pelos consórcios está menos avançado. Quanto ao CORES, o início da execução da LR ocorreu em meados de 2020 e tem mantido uma boa periodicidade nas coletas até setembro de 2021, embora os volumes de pneus inservíveis coletados sejam pequenos. Já o consórcio CONCESTE, encontra-se em fase prévia, realizando levantamento de dados antecedentes ao firmamento de parceria com empresas executoras das fases da logística reversa.

De forma geral, conclui-se que a alocação de pontos de coleta de resíduos pneumáticos é um grande problema na implementação e execução da logística reversa de pneus inservíveis. Conforme prevê a Resolução CONAMA nº 416/2009, o ideal seria, pelo menos, um ponto de coleta para cada 100 mil habitantes (BRASIL, 2009). Infelizmente cada município que compõe os consórcios não possuem mais que 100 mil habitantes individualmente, no entanto, o volume habitacional regional por consórcio ultrapassa tal quantitativo estipulado legislativamente, fazendo-se extremamente necessária a implantação de pontos de coleta municipais para evitar pontos de descarte ambientalmente incorretos. Já quanto ao município

de Juazeiro do Norte, o mesmo apresenta estimativa populacional superior a 278 mil habitantes indicando que o ideal seria no mínimo dois pontos de coleta municipais para promoção da logística reversa e responsabilidade compartilhada.

Quanto à destinação final, após coleta e transporte, os resíduos pneumáticos gerados em Juazeiro do Norte e nos municípios integrantes do consórcio Cores são destinados para a Empresa CBL Ambiental, unidade de Feira de Santana, localizada no estado da Bahia.

Identificou-se também que em todo o espaço amostral existem pessoas qualificadas desenvolvendo a gestão dos resíduos de pneus no fim de vida útil, configurando uma grande vantagem.

Conforme apresentado anteriormente, autores como Chung e Lo (2008), Guerrero *et al.* (2013), Bassam Mrayyan e Moshrik R. Hamdi (2006), dentre outros, listam obstáculos e desafios enfrentados no gerenciamento de resíduos sólidos, tais como a disponibilidade financeira; o grau de instrução dos profissionais envolvidos; pouca interação entre setores públicos e privados; etc. No entanto, observa-se com a pesquisa que o modelo de consórcios para gestão de resíduos sólidos diminui tais problemáticas por serem geridos por profissionais capacitados, com base em um orçamento estimado previamente e, principalmente, por perceber a união municipal em consórcios promovidos pelo Governo Estadual do Ceará.

A destinação correta dos resíduos pneumáticos através da LR é importante para o desenvolvimento sustentável, transcendendo as esferas locais, regionais e nacionais, sendo entendido como um benefício de expressividade global. Diminuindo assim os impactos ambientais globais que resultam em inúmeros fenômenos negativos para o meio ambiente, como os associados às mudanças climáticas que já são vivenciadas.

Infelizmente, sabe-se que os impactos negativos associados aos resíduos pneumáticos podem ser agravados por uma gestão inadequada. Dessa forma, é mais que necessário combater o descarte por meio de práticas que agredem o meio ambiente, tais como: descartes ilegais em rios e lagos, abandono em terrenos, ou ocupando espaço em aterros sanitários destinados a outros tipos de resíduos, evitando-se assim possíveis contaminações do solo, da água e do ar com os metais pesados que fazem parte da composição do pneu e que são liberados no processo de decomposição.

O processo da LR dos pneumáticos inservíveis promove a sustentabilidade com base no tripé de *bottom line*, pois alcança ótimos resultados nos três setores: ambiental, econômico e social. Justifica-se a sustentabilidade no processo, pois identifica-se que a destinação correta e a reinserção dos resíduos de pneus na cadeia produtiva diminuem os

impactos ambientais negativos, dentre eles a diminuição no quantitativo de matéria prima retirada do meio natural. Nos setores social e econômico promove a geração de emprego e renda, além da valorização econômica dos produtos por serem produzidos de forma sustentável e da promoção da conscientização social dos indivíduos que adquirem produtos sustentáveis.

3.5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O processo da LR dos pneumáticos inservíveis promove a sustentabilidade, pois proporciona o retorno desses como matéria prima para produção de novos produtos, minimiza os impactos negativos associados ao descarte inadequado e promove impactos positivos como: a geração de emprego e renda, a valorização econômica dos produtos sustentáveis, a promoção da conscientização social, a qualidade do meio natural, fomenta a responsabilidade compartilhada e promove a execução de uma gestão integrada e participativa. Para tanto faz-se necessária uma visão multidisciplinar fortalecedora da gestão para vencer as dificuldades enfrentadas pelas organizações que desempenham o gerenciamento de resíduos sólidos.

O objetivo traçado para a pesquisa foi alcançado a partir da apresentação e da análise da execução da logística reversa aplicada aos resíduos pneumáticos no espaço amostral objeto do estudo de caso. Ressalta-se que a pandemia do COVID 19 limitou a abrangência da pesquisa, mas não inviabilizou a execução dela, uma vez que a comunicação via e-mail para solicitação de informações através do questionário semiestruturado e recebimento das respostas pelas organizações responsáveis pela gestão dos resíduos pneumáticos foi perfeitamente executada e viável.

Nos gerenciamentos de LR identificados nessa pesquisa observou-se que os quantitativos de resíduos de pneus destinados corretamente oscilam muito com o passar dos tempos/anos. E com um olhar específico para o município de Juazeiro do Norte, observa-se expressiva discrepância nas toneladas de resíduos de pneus destinados corretamente entre os anos de execução da LR municipal.

De forma geral, observa-se ainda que o modelo de consórcios de resíduos sólidos diminui alguns problemas relacionados ao gerenciamento dos resíduos.

Conclui-se que a alocação de pontos de coleta de resíduos pneumáticos é um grande problema na implementação e execução da logística reversa de pneus inservíveis. No município de Juazeiro do Norte o ecoponto identificado como atual ponto de coleta de resíduos de pneus não é informado nas plataformas *online* da Reciclanip nem no Relatório de pneumáticos- 2020 publicado pelo IBAMA (2021). Dentre os 9 municípios consorciados no CORES, apenas Brejo

Santo já desenvolvia a logística reversa dos pneus antes mesmo de se consorciar. Observou-se ainda que os municípios consorciados não possuem pontos de coleta definidos, e a indicação para alocação dos pontos de coleta em cada município consorciado ainda está em andamento.

Estima-se que esta pesquisa contribui para a literatura, para incentivar o gerenciamento adequado e ambientalmente correto por meio da execução da logística reversa dos resíduos de pneus inservíveis por todos os geradores, principalmente em âmbito municipal, seja por iniciativas públicas ou privadas. Como sugestão para pesquisas futuras, incentiva-se o acompanhamento dos quantitativos de resíduos pneumáticos destinados corretamente em todos os municípios do estado do Ceará. Sugere-se também desenvolver estudo aplicando-se Indicadores de Sustentabilidade para conhecer a realidade local e projetar melhorias futuras quanto a temática. Ainda quanto a possibilidades de estudos futuros, sugere-se o desenvolvimento de pesquisa voltado para acompanhamento dos consórcios municipais que tenham como finalidade o gerenciamento adequado de todos os tipos de resíduos sólidos.

3.6. REFERÊNCIAS

ANIP – Associação Nacional da Indústria de Pneus. Institucional. 2021. Disponível em <<https://www.anip.com.br/>>. Acesso em: 02 mai. 2021.

AQUINO *et al.* 2019. **A logística reversa como medida mitigadora para os pneus inservíveis na Cidade de Fortaleza.** In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 30^{o.}, 16 a 19 jun. 2019, Natal, no Rio Grande do Norte. Anais [...] Natal, no Rio Grande do Norte, 2019.

BASSAM Mrayyan, MOSHRIK R. Hamdi. Management approaches to integrated solid waste in industrialized zones in Jordan: A case of Zarqa City, **Waste Management**, Volume 26, Issue 2, 2006, Pages 195-205, ISSN 0956-053X. Disponível em <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X05001686>>. Acesso em 02 maio 2021.

BRASIL. IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais. Instrução Normativa N^o 1, de 18 de março de 2010. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 19 de março de 2010.

BRASIL. MMA - Ministério do Meio Ambiente. Lei N^o 12.305, de 02 de agosto de 2010: Estabelece multa em operações de importação, e dá outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 03 de agosto de 2010, 2010.

BRASIL. MMA - Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução N^o 416 de 30 de setembro de 2009. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 01 de outubro de 2009. Seção 1, p. 64-65. 2009.

CEARÁ. Governador do Estado do Ceará. LEI n^o 16.032, 20 de junho de 2016. Disponível em

<<https://www.cidades.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/12/2018/03/16032Residuos.pdf>>
Acesso em: 27 set. 2021.

CEARÁ. SEMA - Secretaria do Meio Ambiente. Plano de Coletas Seletivas Múltiplas- 2021. Disponível em <<https://www.sema.ce.gov.br/plano-de-coletas-seletivas-multiplas/>> Acesso em: 27 set 2021.

CEARÁ. SEMA - Secretaria do Meio Ambiente. Resumo Executivo - Plano das Coletas Seletivas Bacia do Salgado - 2017. Disponível em < https://www.sema.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/36/2018/12/Plano-COLETAS-SELETIVAS-MULTIPLAS-Resumo_Salgado.pdf > Acesso em: 27 set 2021.

CHUNG, Shan e LO, Carlos W.H. Local waste management constraints and waste administrators in China, **Waste Management**, Volume 28, Issue 2, 2008, Pages 272-281, ISSN 0956-053X. Disponível em <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X06003527>>. Acesso em 02 mai. 2021.

CHERUBINI, Francesco; BARGIGLI, Silvia; ULGIATI, Sergio. Life cycle assessment (LCA) of waste management strategies: Landfilling, sorting plant and incineration, **Energy**, Volume 34, Issue 12, 2009, Pages 2116-2123, ISSN 0360-5442, Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544208002120>. Acesso em 21 fev. 2021.

FAGUNDES, LD, AMORIM, ES e DA SILVA Lima, R. Pesquisa-ação em logística reversa para reciclagem de pneus em fim de vida. **Syst Pract Action Res** 30, 553–568 (2017). Disponível em <https://doi-org.ez98.periodicos.capes.gov.br/10.1007/s11213-016-9408-1> Acesso em 22 abr. 2021.

FIKSEL, J., Bakshi, BR, Baral, A. *et al.* Avaliação comparativa do ciclo de vida de aplicações benéficas para pneus inservíveis. **Clean Techn Environ Policy** 13, 19–35 (2011). Disponível em <<https://doi-org.ez98.periodicos.capes.gov.br/10.1007/s10098-010-0289-1>>. Acesso em 02 mai. 2021.

FLEISCHMANN *et al.* Mortiz Fleischmann, Hans Ronald Krikke, Rommert Dekker, Simme Douwe P. Flapper, A characterisation of logistics networks for product recovery, **Omega**, Volume 28, Issue 6, 2000, Pages 653-666, ISSN 0305-0483. Disponível em <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0305048300000220>>. Acesso em 01 mai. 2021.

FUNDAÇÃO DEMÓCRITO ROCHA. Anuário do Ceará 2020. Fortaleza: Fundação Demócrito Rocha, 2020-2021 680 p.; il. Color ISSN 1677-2881. Disponível em < <https://www.anuarioceara.com.br/wp-content/themes/anuario/assets/anuario-20-21.pdf>>. Acesso em: 04 mai. 2021.

GIL, Antônio Carlos, 1946- **Como elaborar projetos de pesquisa**/Antônio Carlos Gil. - 4. ed. - São Paulo :Atlas, 2002.

GOVINDAN, K.; SOLEIMANI, H.; KANNAN, D. Reverse logistics and closed-loop supply chain: A comprehensive review to explore the future, **European Journal of Operational**

Research, Volume 240, Issue 3, 2015, Pages 603-626, ISSN 0377-2217. Disponível em <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221714005633?via%3Dihub>. Acesso em 21 fev. 2021.

GUERRERO, L.A.; MAAS, G.; HOGLAND, W. Solid waste management challenges for cities in developing countries, **Waste Management**, Volume 33, Issue 1, 2013, Pages 220-232, ISSN 0956-053X. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X12004205>>. Acesso em 02 mai. 2021.

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Relatório de Pneumáticos 2020 - Resolução CONAMA nº 416/09. 2020. Disponível em <http://ibama.gov.br/phocadownload/pneus/relatoriopneumaticos/2021-03-03-%20Ibama-Relatorio_Pneumaticos_2020_completo_com_capa___terceira_versao.pdf>. Acesso em 05 maio 2021.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Cidades e Estados – Juazeiro do Norte/CE. 2021. Disponível em:< <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/ce/juazeiro-do-norte.html>>. Acesso em 06 de nov de 2021.

JANG ,Ji-Won, YOO, Taek-Soo, OH, Jae-Hyun, IWASAKI, Iwao. Discarded tire recycling practices in the United States, Japan and Korea. Resources, **Conservation and Recycling**, Volume 22, Issues 1–2, 1998, Pages 1-14, ISSN 0921-3449. Disponível em <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344997000414>>. Acesso em 01 maio de 2021.

KHOR, Kuan Siew, Zulkifli Mohamed Udin, Thurasamy Ramayah, Benjamin T. Hazen. Reverse logistics in Malaysia: The Contingent role of institutional pressure, **International Journal of Production Economics**, Volume 175, 2016, Pages 96-108, ISSN 0925-5273, Disponível em:<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925527316000220> Acesso em 22 abril 2021.

LEITE, Danielle Thaís Barros de Souza. **Indicadores de sustentabilidade**: subsídios para o gerenciamento da logística reversa de pós-consumo de pneus inservíveis no município de Aracaju/SE / Danielle Thaís Barros de Souza Leite; orientador Adauto de Souza Ribeiro. – São Cristóvão, 2017.

SIENKIEWICZ, M. et al. Progress in used tyres management in the European Union: A review, **Waste Management**, Volume 32, Issue 10, 2012, Pages 1742-1751, ISSN 0956-053X. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X1200219X>>. Acesso em 02 maio 2021.

MARQUES, S. G. F.; SOUSA, A. I. A.; SILVA, A. C.; ALCÂNTARA, P. B. Produção de concreto para piso intertravado com adição de resíduos de borracha de pneu inservível. **Braz. J. of Develop.**, Curitiba, v. 5, n. 8, p. 11260-11275 aug. 2019. ISSN 2525-8761. DOI:10.34117/bjdv5n8-009.

PEHLKEN, A.; MÜLLER, D.H. Using information of the separation process of recycling scrap tires for process modelling, Resources, **Conservation and Recycling**, Volume 54, Issue 2, 2009, Pages 140-148, ISSN 0921-3449. Disponível em

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344909001554>>. Acesso em 03 maio 2021.

RECICLANIP – Reciclagem da Associação Nacional da Indústria de Pneus. 2021. Disponível em <<https://www.reciclanip.org.br/>>. Acesso em: 02 maio 2021

RESENDE, Eduardo Lima. Canal de distribuição reverso na reciclagem de pneus: estudo de caso. Dissertação (mestrado) – **Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro**, Departamento de Engenharia Industrial. Rio de Janeiro, p: 120. 2004.

SATO, RC, DA SILVA, LF (2017) O problema do transporte de veículos na megacidade São Paulo (Brasil). In: Yan W, Galloway W (eds) Repensando resiliência, adaptação e transformação em tempos de mudança. **Springer, Cham**. Disponível em <https://link-springer-com.ez98.periodicos.capes.gov.br/chapter/10.1007/978-3-319-50171-0_4> Acesso em 22 abril 2021.

SILVA, D.A.L. *et al* 2013. Comparison of disposable and returnable packaging: a case study of reverse logistics in Brazil. **Journal of Cleaner Production** 142 (2017) 371e384.

SPREAFICO, Pedro Ivan *et al*. **Mapeamento da Logística Reversa na Cadeia de Resíduos de Borracha de Pneus Inservíveis no Norte do Ceará**. VII Simpósio Internacional de Administração e Marketing e IX Congresso de Administração da ESPM. 2012. Disponível em <<http://ocs.espm.br/index.php/simposio2012/2012/paper/viewFile/262/160>>. Acesso em 02 mai. 2021.

YIN, Robert K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 5.ed. -Porto Alegre: Bookman, 2015.

4. ARTIGO 3 - SUSTENTABILIDADE E OS 12 R'S PARA O TRATAMENTO DOS RESÍDUOS PNEUMÁTICOS: UMA ANÁLISE SOB A PERSPECTIVA DA ECONOMIA CIRCULAR

RESUMO

Estimular o tratamento dos resíduos de pneus, transformando-os em matéria prima, é crucial para circularidade do produto e minimização de impactos negativos, justificando o necessário investimento em pesquisa para desenvolver tecnologias, formulação de políticas públicas, e união entre academia, empresas e governos. Assim, através da revisão sistemática da literatura identificou-se a hierarquia dos R's para não gerar e tratar os resíduos de pneus, resumida nos 12 conceitos seguintes: Redesenhar, Renovar, Recusar, Reduzir, Revender/Reutilizar, Reparar, Recondicionar, Remanufaturar, Reaproveitar, Reciclar, Recuperar e Retirar. A reciclagem e/ou recuperação de energia dos resíduos de pneus reúnem maior número de publicações, referente a pirólise, incineração, devulcanização, fabricação de cimento ou concreto ou pavimentação asfáltica. Através da análise de dados secundários identificou-se que as empresas fabricantes de pneus instaladas no Brasil executam ou executaram ações sobre redução de CO₂ e consumo de água, adoção de fontes de energia e matéria-prima renováveis, dentre outras. Concluindo-se que a hierarquia dos R's para circularidade do pneu inicia-se no consumidor e posteriormente na indústria, tratando o resíduo de pneu como fonte de matéria prima circular. Conclui-se que esta pesquisa reúne informações relevantes sobre as tecnologias e sobre as empresas fabricantes de pneus, fornecendo informações compiladas que contribuem para a literatura.

Palavras-chave: Economia Circular. Sustentabilidade. Tecnologias de tratamento para resíduos de pneus. Resíduos de pneus.

ABSTRACT:

Stimulating the treatment of waste tires, transforming them into raw material, is crucial for product circularity and minimization of negative impacts, justifying the necessary investment in research to develop technologies, formulation of public policies, and union between academia, companies and governments. Thus, through a systematic literature review, the hierarchy of R's for not generating and treating waste tires was identified, summarized in the following 12 concepts: Redesign, Renew, Refuse, Reduce, Resell/Reuse, Repair, Recondition, Remanufacture, Reuse, Recycle, Recover and Retire. The recycling and/or energy recovery of waste tires gather the largest number of publications, referring to pyrolysis, incineration, devulcanization, manufacture of cement or concrete or asphalt paving. Through the analysis of secondary data, it was identified that tire manufacturing companies installed in Brazil carry out or have carried out actions on CO₂ reduction and water consumption, adoption of renewable energy sources and raw materials, among others. Concluding that the hierarchy of R's for tire circularity begins with the consumer and later in the industry, treating the tire waste as a source of circular raw material. It is concluded that this research gathers relevant information about technologies and tire manufacturing companies, providing compiled information that contributes to the literature.

Keywords: Circular Economy. Sustainability. Treatment technologies for waste tires. Tire waste.

4.1. INTRODUÇÃO

A demanda contínua do uso global de pneus, a necessidade de destino e tratamento ambientalmente adequado para tais resíduos, e a composição material do pneu, são pontos chave para um desenvolvimento sustentável (BOCKSTAL *et al.*, 2019). Como alternativas para a destinação ambientalmente adequada os governos federal e estadual dos Estados Unidos encorajaram a reciclagem e a reutilização de pneus inservíveis, principalmente como combustível derivado de pneus, aplicações de engenharia civil ou como borracha moída (FIKSEL *et al.*, 2010). Nos países Bélgica, França e Portugal a taxa de recuperação de pneus atingiu mais de 100% de sucesso conforme Sienkiewicz *et al.* (2012).

Almejando aproveitar a matéria-prima ao máximo, a EC é caracterizada por um novo modelo de negócios com: ganhos econômicos, atendimento as necessidades sociais gerando empregos inovadores, e propiciando ferramentas para minimizar impactos ambientais negativos viabilizando ganhos (MCARTHUR, 2019). Necessária para mitigar impactos ambientais, reduzir a geração de resíduos no meio ambiente e promover cadeias produtivas sustentáveis (HUGO *et al.*, 2021).

As tecnologias para reprocessar matéria-prima e promover a circularidade dos produtos são baseadas nos R's de tratamento de resíduos e incluem além da difundida Reciclagem e Reutilização, outras possibilidades como: redesenhar, renovar, recusar, reduzir, reparar, recondicionar, remanufaturar, reaproveitar, recuperar e retirar (REIKE; VERMEULEN; WITJES, 2018; CAMPBELL-JOHNSTON *et al.*, 2020; ARAUJO-MORERA *et al.*, 2021). Conforme Araujo-Morera *et al.* (2021) o modelo de Economia Circular (EC) cresce na indústria dos pneus devido as novas oportunidades no mercado sustentável, a exigência das legislações de cunho ambiental e a consciência ambiental empresarial, seja pela aplicação de tecnologias capazes de obter subprodutos benéficos ou pela substituição de produtos derivados do petróleo por outras matérias-primas naturais ou de base biológica.

Dessa forma, vários autores estudam a EC aplicada a resíduos de pneus, como: Antoniou e Zabaniotou (2015) que apresentam o processo de pirólise de pneus como alternativa de fim de vida sustentável, resultando na redução de custos e produção de energia e materiais porosos; Fraile-Garcia *et al.* (2016) propõem a reutilização dos pneus inservíveis para a produção e melhoria acústica de blocos e tijolos feitos de concreto e resíduo de pneus; Moulin e Silva (2017) estudaram a aplicação industrial do negro de fumo recuperado por termólise de água a vapor de pneus residuais; Landi *et al.* (2018) analisaram a reutilização de fibras têxteis recuperadas de pneus usados; Gigli, Landi e Germani (2019) estudaram a economia circular

como alternativa para a reciclagem de resíduos de pneus; Antoniou e Zorpas (2019) estabeleceram os critérios para não desperdiçar óleo de pirólise de pneu e inseri-lo na EC; Zhang *et al.* (2020) estudaram como recuperar os resíduos de borracha de pneu para a produção de compósitos de borracha de alto desempenho; Wang *et al.* (2020) investigaram o potencial de introduzir pneus inservíveis em estradas e a relação com reduções de emissões de carbono na China. Dobrotã, Dobrotã e Dobrescu (2020) apresentam a EC através de um novo *design* para fabricação de pneus novos, capaz de diminuir a geração de resíduos, valorizar os resíduos resultantes, separar mais facilmente os materiais componentes do produto, e redução substancial no consumo de materiais e energia no processo de fabricação de pneus.

Além dos avanços nas publicações acadêmicas, algumas fabricantes de pneus executam ações de sustentabilidade e estratégias circulares, como as empresas Bridgestone e Goodyear que fabricam produtos com óleo de soja para substituir o uso do óleo de petróleo tradicional, fonte de energia não renovável. A Firestone busca aumentar a vida útil da banda de rodagem em 10% introduzindo em pneus agrícolas 10% de óleo de soja, reduzindo o uso de óleo até 8,5 milhões de galões/ano do óleo a base de petróleo. As fabricantes Pirelli e Goodyear usam sílica derivada da casca de arroz para produzir pneus com maior resistência ao rolamento. E a Yokohama usa óleo derivado da casca de laranja substituindo o petróleo, aumentando a economia de combustível, reduzindo a resistência ao rolamento, mantendo uma boa tração (AMICK, 2015).

Para que mais pesquisas sejam desenvolvidas, Araujo-Morera *et al.* (2021) salientam a necessária parceria entre os pesquisadores e as empresas, pois são as pesquisas que levarão as empresas a implantar a circularidade dos pneus e aliviarão a atual preocupação pública sobre o impacto dos pneus no meio ambiente. Assim como Campbell-Johnston *et al.* (2020) que indicam a necessidade de pesquisas em vários lugares para desenvolver recomendações específicas e culturalmente adaptadas. Corroborando com o entendimento de Daniel Martínez (2021), que desenvolveu estudo na América Latina e identificou que o número de trabalhos científicos sobre resíduos de pneus é bastante limitado, afirmando ser necessários mais investimentos na área para promover e aumentar as atividades de pesquisa e desenvolvimento.

Quanto ao incentivo e promoção do tratamento de resíduos de pneus, Fazli e Rodrigues (2020) almejam que o futuro próximo atraia mais atenção para projetos de pesquisa e investimentos governamentais como uma abordagem promissora para melhorar a economia circular e a sustentabilidade dos pneus de borracha. Motivando essa pesquisa que tem como

objetivo identificar as tecnologias que promovem a economia circular nos modelos de tratamento dos resíduos de pneus que são apresentadas na literatura, assim como identificar as ações ambientais desenvolvidas pelas empresas fabricantes de pneus que possuem instalações no território brasileiro.

4.2. REFERENCIAL TEÓRICO

A EC quebra o padrão global de produção baseado no modelo linear de pegar, fazer, consumir e descartar (GHISELLINI; CIALANI; ULGIATI, 2016), originando ciclos de materiais lucrativos mesmo sem o uso de recursos naturais novos, pois a reinserção do resíduo na cadeia produtiva como matéria prima diminui o desperdício e impulsiona a circularidade (ELIA; GNONI; TORNESE, 2017).

Complementando, Reike, Vermeulen e Witjes (2018) esclarecem que o vínculo da EC com a sustentabilidade é interpretado de diferentes formas entre os autores, e que existem questões paradigmáticas fundamentais na conceituação da EC, no entanto, é inegável que seus métodos confrontam o modelo linear insustentável e é colocada como uma estratégia de crescimento contribuindo assim para o desenvolvimento sustentável. Ainda quanto aos autores, a EC é um conceito renovado e evidenciam sua evolução em três fases expressas em intervalos de tempos específicos e voltadas para preocupações diferentes, são elas: EC 1.0, de 1970 a 1990 com a atenção voltada para a melhoria da gestão de resíduos e posteriormente na reciclagem, separação e coleta dos mesmos; a EC 2.0, caracterizada no período de 1990 a 2010 abordando estratégias de Ecoeficiência de *inputs* e *outputs* e a interação da EC com a literatura de Logística Reversa e a Cadeia de Suprimentos de Malha Fechada; e EC 3.0 a partir de 2010, discutindo a maximização da retenção de valor na era do esgotamento de recursos, com o pensamento combinado em modelos de negócios, produtos e materiais (REIKE; VERMEULEN; WITJES, 2018).

Geissdoerfer *et al.* (2017) esclarecem que conceitualmente a EC é vista como condição para a sustentabilidade, caracterizando como uma relação benéfica ou um *trade-off* na literatura, entendem ainda que ambos os conceitos são frequentemente utilizados em contextos semelhantes embora apresentem algumas diferenças, indicando que a aplicação da EC é variável, pois alguns métodos enfatizam mais os benefícios econômicos em detrimento da perspectiva ambiental e social, enquanto outros autores buscam equidade conforme o tripé ambiental, econômico e social da sustentabilidade.

Para Buren *et al.* (2016), além do potencial econômico e da proteção ambiental, a EC promove o social criando mais empregos regionais na chamada “*ecoindústria*” devido à maior demanda de matérias-primas reprocessada, bem como cria valor social na prevenção de trabalhos em condições insalubres, assim como o potencial de redução direta e significativa da deterioração ambiental que resulta em valor social imensurável.

A EC é um conceito estratégico, por isso, muitos autores a relacionam com os R’s consoante iniciais das palavras que indicam as ações de tratamento para resíduos, de forma que estas conceituações de R’s variam entre os diferentes estudiosos da EC na literatura. Por exemplo, Reike, Vermeulen e Witjes (2018) diagnosticaram 38 R’s, ou seja, palavras que aparecem como derivações de reutilização, no entanto os autores desenvolveram uma síntese da literatura e propuseram uma tipologia de 10R’s, diversificados para os diferentes estágios de vida do produto, sejam no produzir, no usar, no conceito ou no *design*. Os referidos autores, em síntese, distinguem três categorias de enquadramento dos 10R’s, dividindo-os em: curtos: recusar, reduzir, revender/reutilizar e reparar, onde o produto permanece próximo de seu usuário e função; os R’s longos médios: recondicionar, remanufaturar e reaproveitar, onde os produtos são atualizados e os produtores são novamente envolvidos; e os R’s longos: reciclar materiais, recuperar e retirar, onde os produtos perdem sua função original.

Já Araujo-Morera *et al.* (2021) apresentam que a EC aplicada aos pneus baseia-se em 7Rs (redesenhar, renovar, reduzir, reutilizar, reparar, recuperar e reciclar), permitindo a maior retenção de valor possível dos recursos ao longo de vários ciclos de vida do produto. Assim os autores comentam ainda que a EC aplicada aos pneus é atualmente determinada pela circularidade do produto e do material (centrar-se na obtenção de subprodutos benéficos) e pela produtividade dos recursos (concentra-se na substituição de produtos derivados do petróleo por outras matérias-primas naturais ou de base biológica).

Campbell-Johnston *et al.* (2020) apresentaram uma possível “*hierarquia R*” com 7R’s para tratamento de pneus em fim de vida útil, sequenciando o encaminhamento prescritivo e preferível de operações, recuperação e tratamento destes conforme segue: primeiro é importante recusar gerar o resíduo; seguido por reduzir; revender/reutilizar; remanufaturar; reaproveitar; reciclar; e, por fim, recuperar o resíduo. Vale ressaltar que os mesmos autores utilizam a hierarquia dos R’s proposta por Reike *et al.* (2018), no entanto, não consideram os R’s de reparo e recondicionamento como opções para tratar pneus.

De acordo com os autores Reike, Vermeulen e Witjes. (2018); Campbell-Johnston *et al.* (2020); e Araujo-Morera *et al.* (2021), criou-se o **Quadro 2** com a finalidade de sintetizar

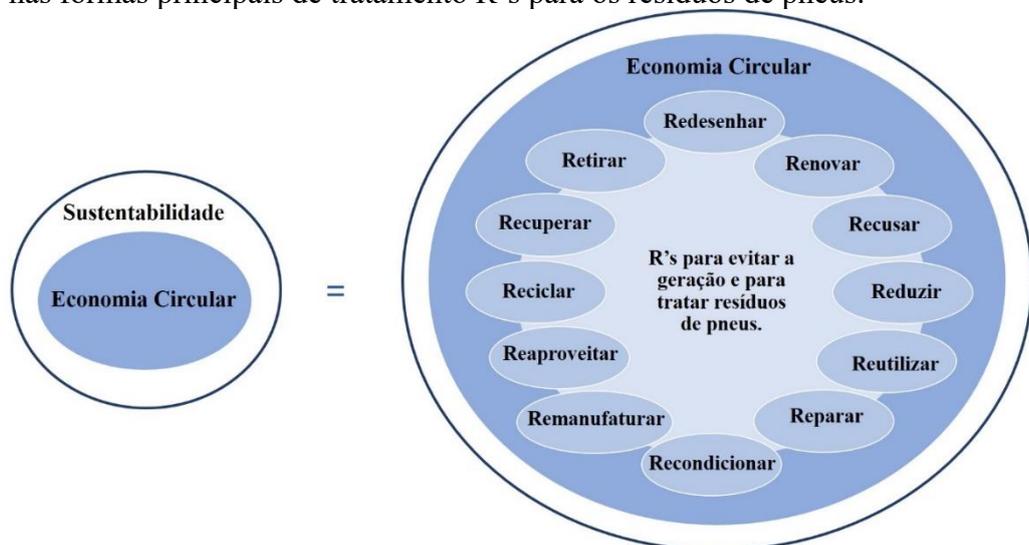
e descrever os 12R's principais indicados para tratamento de resíduos de pneus.

Quadro 2 - Hierarquia dos caminhos preferenciais em 12R's para tratamento de resíduo de pneus.

R's	Conceito	Autores (ano)
Redesenhar	Inovar no design e desenho na produção de pneus novos seguros e econômicos.	Araujo-Morera <i>et al.</i> (2021)
Renovar	Substituir produtos derivados do petróleo por outras matérias-primas naturais ou de base biológica.	Araujo-Morera <i>et al.</i> (2021)
Recusar	Escolher não possuir veículos, ou usar meios de transporte alternativos.	Campbell-Johnston <i>et al.</i> (2020) Reike <i>et al.</i> (2018)
Reduzir	Estender a vida do produto.	Araujo-Morera <i>et al.</i> (2021) Campbell-Johnston <i>et al.</i> (2020) Reike <i>et al.</i> (2018)
Reutilizar	Revender e/ou reutilizar pneus descartados que estejam funcionais e em condições de uso seguro.	Araujo-Morera <i>et al.</i> (2021) Campbell-Johnston <i>et al.</i> (2020) Reike <i>et al.</i> (2018)
Reparar	Trazer o pneu de volta à ordem de trabalho, tornando-o tão bom como novo.	Araujo-Morera <i>et al.</i> (2021) Reike <i>et al.</i> (2018)
Recondicionar	Desenvolver nova atualização geral do produto, o resultado deve ser uma qualidade especificada.	Araujo-Morera <i>et al.</i> (2021) Reike <i>et al.</i> (2018)
Remanufaturar	Recauchutar pneus descartados funcionalmente sólidos, como na substituição da banda de rodagem exterior de um pneu.	Campbell-Johnston <i>et al.</i> (2020) Reike <i>et al.</i> (2018)
Reaproveitar	Usar o pneu de forma alternativa, para os quais não foi originalmente projetado, como proteção de pistas de corrida, materiais para obras de arte, balanços etc. Aplicando o menor tratamento físico ou químico.	Campbell-Johnston <i>et al.</i> (2020) Reike <i>et al.</i> (2018)
Reciclar	Transformar o pneu física e/ou quimicamente, como a trituração do pneu para extrair borracha e outros componentes, como aço e fibras têxteis.	Araujo-Morera <i>et al.</i> (2021) Campbell-Johnston <i>et al.</i> (2020) Reike <i>et al.</i> (2018)
Recuperar	Recuperar a energia via pirólise ou incineração. Ou recuperar materiais via desvulcanização.	Araujo-Morera <i>et al.</i> (2021) Campbell-Johnston <i>et al.</i> (2020) Reike <i>et al.</i> (2018)
Retirar	Extrair materiais após a fase de aterro, é quase sempre esquecida ou ignorada na operacionalização da EC.	Reike <i>et al.</i> (2018)

Elaboração: Autores (2022). Fontes indicadas no quadro.

Figura 3 - Fluxograma resumo da integração entre a Economia Circular e a Sustentabilidade nas formas principais de tratamento R's para os resíduos de pneus.



Fonte: Autora (2022).

Na literatura sobre EC são caracterizadas várias gradações ou opções de circularidade para os resíduos de pneus dentro do sistema produtivo ou de consumo, assim, conforme as 12 possibilidades de tratamento R's apresentados no **Quadro 2**, a **Figura 3** ilustra esquemática e resumidamente a integração da economia circular com a sustentabilidade, compreendendo-se que a EC está inserida na sustentabilidade numa relação de complementaridade, ilustrada como conjuntos e subconjuntos que apresentam inúmeras possibilidades de circularidade.

No desenvolvimento da EC junto a sustentabilidade no mundo dos pneus faz-se necessária a interação dos três pilares principais: o uso sustentável de recursos, a inovação tecnológica e o crescimento econômico, desde as fases iniciais de produção até à fase pós-consumo. Para tanto, torna-se indispensável o investimento e incentivo na pesquisa e no desenvolvimento de tecnologias no universo dos pneus como: na fase inicial de produção, a otimização de designs inovadores e de vanguarda; na fase de consumo, os processos de recauchutagem e reparação; e na fase pós-consumo, a mais debatida atualmente, na recuperação de energia e materiais. Assim as indústrias de pneus precisam estar atentas na produção e promoção de tecnologias de tratamento que se mostram eficazes para a diminuição do uso de borracha virgem, no prolongamento da vida útil dos produtos de borracha, reduzindo o desperdício e economizando matéria-prima e energia (ARAUJO-MORERA *et al.*, 2021).

4.3. METODOLOGIA

O método de pesquisa selecionado é uma abordagem qualitativo-quantitativa, pois podem ser complementares para enriquecer a análise (MINAYO; SANCHES, 1993). O método de pesquisa que combina estratégias quantitativas e qualitativas, é a análise de conteúdo e a revisão sistemática da literatura (RSL). A análise de conteúdo permite uma compreensão aprofundada dos construtos da pesquisa e sua relação (DURIAU; REGER; MICHAEL, 2007). Os procedimentos foram organizados em 6 etapas conforme Charlton (2012): (a) mapeamento do campo através de uma revisão sistemática, (b) pesquisa bibliográfica abrangente sobre o tema, (c) avaliação da qualidade da identificação de artigos relevantes, (d) extração de dados, (e) síntese e (f) escrita.

A RSL fornece percepções coletivas por síntese teórica dos temas selecionados (TRANFIELD; DENYER; SMART, 2003), seguindo uma metodologia rígida que permite

racionalidade, transparência e replicabilidade na seleção e avaliação das publicações científicas (KHAN *et al.*, 2018).

Os dados foram obtidos da base de dados científica *Web of Science* em novembro de 2021. A base de dados da *ISI Web of Science* tem grande relevância no meio acadêmico, bem como opções de tratamento de dados diferenciais (FRANCO *et al.*, 2018). Os descritores foram divididos em dois grupos, todos na língua inglesa: (1) termos relacionados a pneus: *tire OR tyre OR pneumatic* OR rubber OR wheel*; e (2) “*circular economy*”; estas palavras foram buscadas no título, palavras-chave e resumos. Essa busca resultou em 144 publicações, filtrou-se apenas por artigos e revisões e na língua inglesa, resultando em 126 artigos que compõem a base final, englobando os artigos até o final de outubro de 2021. Do total de 126 que foram analisados individualmente.

Além da análise de conteúdo e RSL foi realizado uma análise de dados secundários. O levantamento de dados secundários é útil para pesquisadores que buscam uma análise profunda de um conjunto de dados existentes. As fontes secundárias incluem materiais, estudos ou registros que forneçam descrições, explicações e interpretações das fontes primárias, como por exemplo: pesquisas, relatórios, banco de dados de empresas, entre outros (WINDLE, 2010; NADAE; CARVALHO; VIEIRA, 2019).

Os relatórios, *websites* e artigos de 10 fabricantes de pneus instaladas no Brasil: Bridgestone, Continental, Dunlop, Goodyear, Maggion, Michelin, Pirelli, Rinaldi, Titan e Tortuga, foram analisados para compor os dados secundários apresentados nesta pesquisa. Para tanto nos *websites* buscou-se verificar se as empresas possuíam informações publicadas sobre ações de sustentabilidade e economia circular referente ao processo de fabricação, desenvolvimento de tecnologia, social, ambiental e econômico.

4.4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.4.1. Principais formas de tratamento aplicadas a resíduos de pneus

Analisando as publicações por ano (**Gráfico 4**), verifica-se que o primeiro artigo presente na base é do ano de 2013. O estudo de 2013 de Dong *et al.* (2013) analisa como a EC pode gerar benefícios econômicos e ambientais em indústrias e comunidades agrupadas, contribuindo para o desenvolvimento de baixo carbono da cidade, economia de energia, reciclagem de materiais, bem como mitigações da poluição do ar, portanto, mais atenção política precisa ser dada. De acordo com a pesquisa a reciclagem de pneus inservíveis é outra forma eficaz de obter benefícios ambientais.

Gráfico 4 - Publicações por ano conforme base de dados da literatura



Elaboração: Autores (2022). Fonte: ISI Web of Science.

As publicações dos anos de 2020 e 2021 referem-se ao quantitativo de 37 e 53 artigos publicados em cada ano respectivamente, no entanto, alguns artigos não interessam ao objetivo principal desta pesquisa. A maioria dos artigos analisados pesquisam temas sobre a reciclagem de resíduos de pneus e/ou sobre recuperação de energia destes resíduos, principalmente descrevendo tecnologias sobre: a pirólise (AL-SALEM, 2020; FEIZI *et al.*, 2020; KHUDYAKOVA; SHMIDT; SHMIDT, 2020; DANIEL MARTÍNEZ *et al.*, 2020; SWIECHOWSKI *et al.*, 2020; CARDONA-URIBE; BETANCUR; DANIEL MARTÍNEZ, 2021; CHEW *et al.*, 2021; DANIEL MARTÍNEZ, 2021; URREGOYEPES *et al.*, 2021); incineração (BAGHERI *et al.*, 2020; YIN *et al.*, 2021); desvulcanização (LIN *et al.*, 2020; MARKL; LACKNER, 2020; GUMEDE *et al.*, 2021; SAPUTRA *et al.*, 2021); produção de cimento e concreto (SANTANA; PEREIRA, 2020; VEDRTNAM; BEDON; BARLUENGA, 2020; BALEA *et al.*, 2021; PAWELSKA-MAZUR; KASZYNSKA, 2021; LETELIER *et al.*, 2021); engenharia de pavimentação (ALMEIDA *et al.*, 2021; PICADO-SANTOS; CAPITÃO; NEVES, 2020; TARSI *et al.*, 2020; WANG *et al.*, 2020); e reciclagem em geral (BOWLES *et al.*, 2020; FAZLI; RODRIGUE, 2020; FERDOUS *et al.*, 2021; GOBETTI; CORNACCHIA; RAMORINO, 2021; HUANG, 2021; KORNIEJENKO *et al.*, 2021; KUMAWAT *et al.*, 2021; TAMAYO *et al.*, 2021).

Os artigos mais citados da base, com mais de 10 citações, propõem em sua maioria, que os pneus inservíveis sejam Reciclados ou Recuperados, conforme sintetiza o **Quadro 3**.

Quadro 3 – Tecnologias de tratamento de resíduo de pneus citadas na literatura para os R's de tratamento de resíduos de pneus mais utilizadas.

R's	Tecnologia sugerida	Autor(es)(Ano)	Citações
Reciclagem	Reciclagem de sucata de pneus e outros resíduos. A sucata de pneus é reciclada para a indústria siderúrgica e cimenteira como energia primária.	Dong <i>et al.</i> , (2013)	70
	Comportamento acústico de blocos e tijolos feitos de concreto e resíduo de pneu	Fraile Garcia <i>et al.</i> , (2016)	13
	Retirada e uso das fibras têxteis de resíduos de pneus usados como reforço betuminoso na indústria de asfalto.	Landi <i>et al.</i> , (2018)	24
	Reciclagem de resíduos de pneus: Projeto REFIBRE transformar a fibra têxtil de resíduos de pneus em uma matéria-prima secundária útil para diferentes aplicações.	Gigli, Landi e Germani (2019)	37
	Reciclagem de resíduos de pneus em composto de borracha de pneu terrestre	Fazli e Rodrigue, (2020)	17
Recuperação	Protótipo de pirólise para pneus em fim de vida para produção de energia e materiais porosos	Antoniou e Zabaniotou (2015)	14
	Aplicação industrial do negro de fumo recuperado por termólise de água a vapor de pneus residuais.	Moulin <i>et al.</i> , (2017)	12
	Óleo de pirólise de pneu no quadro da estratégia de economia circular caracterizando o fim de desperdício e exploração do valor energético.	Antoniou e Zorpas, (2019)	15
	Recuperação de resíduos de borracha de pneu usando um reator de recuperação térmico-oxidativo dinâmico termo-oxidativa dinâmico e ecologicamente correto, para a produção de compósitos de borracha de alto desempenho.	Zhang <i>et al.</i> , (2020)	11

Elaboração: Autores (2022). Fontes indicadas no quadro.

Na busca por soluções técnicas que possibilitem a gestão eficiente dos resíduos de pneus e cumprir os requisitos da EC percebe-se que a maioria dos artigos descrevem as práticas de reciclagem dos resíduos de pneus e a recuperação/transformação energética que em grande maioria descrevem o uso da tecnologia de pirólise. Assim como explica Reike, Vermeulen e Witjes (2018) quando esclarece que as políticas e medições muitas vezes são focadas na captura de taxas de reciclagem, ao invés de incentivar processos antecessores como a reutilização, redução ou recuperação de produtos e materiais vinculados a outros R-imperativos.

4.4.2. As indústrias fabricantes de pneus

São 20 indústrias fabricantes de pneus novos instaladas no território nacional, de grandes marcas como: Bridgestone, Continental, Dunlop, Goodyear, Maggion, Michelin, Pirelli, Rinaldi, Titan, Tortuga, distribuídas pelo país nos estados do Amazonas, Bahia, Paraná, Rio de Janeiro, Rio Grande do Sul e São Paulo (ANIP, 2021).

O **Quadro 4** apresenta um resumo das referidas fabricantes, apresentando informações sobre sua origem, a/as localizações fabris no Brasil, e as principais ações sustentáveis e impulsionadoras da EC desenvolvidas por cada uma, conforme informações adquiridas nos respectivos *websites* através da pesquisa secundária de dados.

Quadro 4 - Principais informações e ações sustentáveis e impulsionadoras da EC executadas pelas empresas fabricantes de pneus.

Empresa	País de origem	Localização da fábrica no Brasil	Ações desenvolvidas
Bridgestone	Estados Unidos	Santo André (SP)	<ul style="list-style-type: none"> Energia limpa; Reciclagem de resíduos; Redução do consumo de água.
Continental	Alemanha	Camaçari (BA)	<ul style="list-style-type: none"> Desenvolvimento de borracha através do látex extraído da planta dente-de-leão; Fabricação de pneus novos com poliéster reciclado.
Dunlop	Irlanda	Camaçari (BA)	<ul style="list-style-type: none"> Desenvolvimento de pneus run-flat
Goodyear	Estados Unidos	Fazenda Rio Grande (PR)	<ul style="list-style-type: none"> Abastecimento sustentável de matérias-primas como borracha natural e suprimentos; Rastreabilidade de matérias-primas; Energia renovável; Gerenciamento proativo de riscos ambientais, sociais e de gestão da cadeia de suprimentos.
Maggion	Brasil	São Paulo (SP),	<ul style="list-style-type: none"> Certificações ambientais e de qualidade; Parceria com a Cooperativa de Recicláveis da e implanta a coleta seletiva nas fábricas.
Michelin	França	Americana (SP), e Santa Bárbara (SP)	<ul style="list-style-type: none"> Estratégia 4R: Reduzir, Reutilizar, Reciclar e Renovar para uma economia circular; Consumir menos carbono, energia e recursos naturais; Monitora consumos de água, energia, as emissões de CO₂, os compostos orgânicos voláteis, quantidade e quantidade de resíduos gerados e valorizados; Proteção e restauração da Mata Atlântica, e cultivo de seringueira, cacau e banana por agricultores locais; Pesquisa científica com a criação do Centro de Estudos da Biodiversidade. Parque da Cachoeira da Pancada Grande e da Reserva Ecológica Michelin (REM), com mais de três mil hectares.
Pirelli	Itália	Guarulhos (SP)	<ul style="list-style-type: none"> Plano de Sustentabilidade empresarial; Reduz consumo de água e de energia, e redução absoluta de emissões de CO₂. Linha “Green Performance” reduzindo a emissão de poluentes; Certificação
Rinaldi	Brasil	Campo Grande (RJ), Resende (RJ), Guarulhos (SP) e Manaus (AM)	<ul style="list-style-type: none"> Energia Renovável; Queima insumos de reflorestamento ou resíduos de madeira; Redução da emissão de CO₂; Destina resíduos sólidos para coprocessamento em cimenteira.
Titan	Estados Unidos	Feira de Santana (BA),	<ul style="list-style-type: none"> Certificação ISO 14001; Consumo consciente dos recursos naturais; Descarte correto dos resíduos.
Tortuga	Brasil	Campinas (SP), São André (SP) e Sumaré (SP)	<ul style="list-style-type: none"> Possui o selo “do Brasil”; Associada corporativa da Sociedade de Pesquisa de Vida Selvagem e Educação Ambiental.

Fonte: Autores (2022).

*Resumo de pesquisa desenvolvida nos websites das 10 empresas fabricantes de pneus novos sobre as publicações de ações sustentáveis desenvolvidas por cada uma.

Conforme o **Quadro 4**, a Continental anunciou êxito no projeto TARAXAGUM que pesquisa o emprego de látex extraído da planta dente-de-leão para produzir pneus, e que no

ano de 2022 inicia na Europa a fabricação de pneus novos com matéria prima de poliéster reprocessado, obtido da reciclagem de garrafas de polietileno tereftalato (PET) (CONTINENTAL, 2020). Já a Goodyear preocupa-se com a rastreabilidade da matéria prima e abastecimento sustentável, como a borracha natural e outros suprimentos (GOODYEAR, 2021). A fabricante Titan (2021) informa resumidamente que realiza o consumo consciente dos recursos naturais.

Quanto ao consumo de energia, observou-se que as fabricantes Bridgestone (2021), Goodyear (2021), Michelin (2021) e Rinalde (2021) já buscam reduzir o consumo e implantar soluções geradoras de energia por fontes renováveis. A redução no consumo de água é uma ação desenvolvida por Bridgestone, Michelin e Pirelli. A redução da emissão de Dióxido de Carbono (CO₂) é praticada pelas fabricantes Michelin (2021), Pirelli (2021) e Rinaldi (2021).

Quanto ao gerenciamento dos resíduos sólidos gerados em todos os setores das fábricas, observou-se ações descritas pelas empresas Bridgestone (2021), Maggion (2021), Michelin (2021), Rinaldi (2021) e Titan (2021). A Michelin (2021) divulga o Programa Michelin Ouro Verde Bahia, promovendo proteção e restauração da Mata Atlântica, e contribuição aos agricultores locais no desenvolvimento do cultivo de seringueira, cacau e banana; criação do Parque da Cachoeira da Pancada Grande e da Reserva Ecológica Michelin (REM); além de criar o Centro de Estudos da Biodiversidade, apoiando pesquisas científicas. Semelhante a Tortuga (2021) que é associada corporativa da Sociedade de Pesquisa de Vida Selvagem e Educação Ambiental (SPVS).

Nos respectivos *websites* as empresas citam ainda o desenvolvimento de ações voltada para gestão ambiental através da divulgação de planos, certificados e selos.

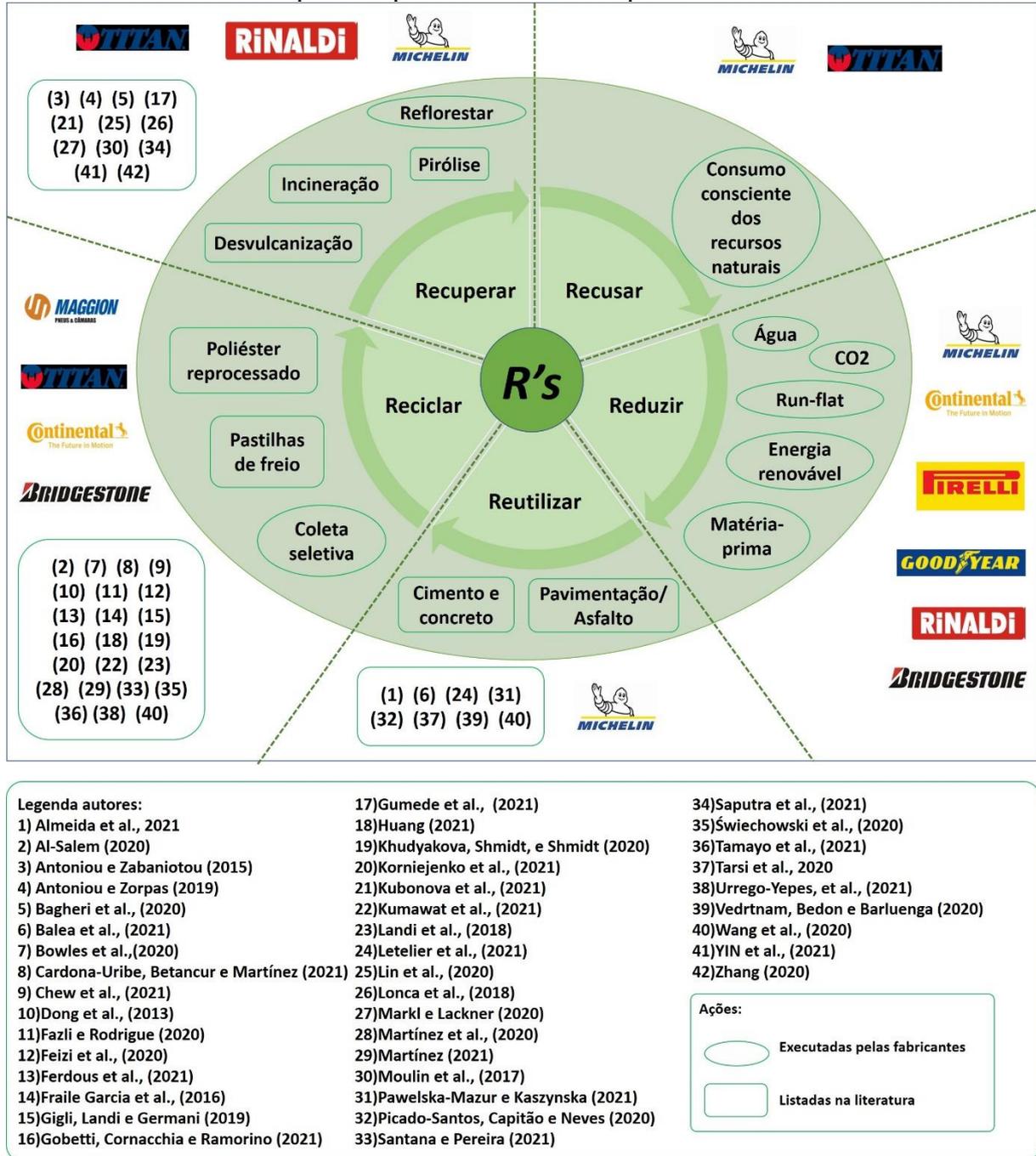
4.4.3. Ações que confirmam a Economia Circular em cada R

A introdução de resíduos de pneus em matrizes poliméricas pode levar a um consumo substancial de pneus descartados, mesmo que sejam empregadas pequenas frações, pois os pneus descartados devem ser vistos como uma matéria-prima durável e barata para a produção de peças diferenciadas e inovadoras diante da viável substituição parcial de matérias-primas virgens, apresentando vantagens como a redução de custos e produção sustentável de compostos (FAZLI; RODRIGUES, 2020).

Apresenta-se a **Figura 4**, que se baseia no **Quadro 2**, para classificar tanto ações da literatura quanto ações das fabricantes de pneus novos em alguns R's consoantes de

tratamentos preferenciais para resíduos de pneus.

Figura 4 - Ações R's de sustentabilidade e economia circular listadas na literatura e/ou executadas pelas empresas fabricantes de pneus novos no Brasil.



Fontes indicadas na figura. Elaboração: Autores (2022).

Na **Figura 4** apresenta-se algumas palavras chaves que indicam ações citadas na literatura (formato retangular) e/ou pelas empresas fabricantes (formato oval) de pneus estudadas, não tendo sido possível ilustrar todas as ações descritas pelos autores indicados na

legenda. Mas os autores identificados descrevem tecnologias de tratamento que se enquadram dentro da perspectiva de tratamento R apresentado em cada espaço delimitado. Faz-se necessário esclarecer também que apenas 5 possibilidades de tratamento R são apresentadas na **Figura 3** pois não se observou artigos ou ações das empresas enquadradas nas demais possibilidades R's não citados.

As ações executadas pelas fabricantes de pneus (**Quadro 4**) apresentadas na figura 4 não dizem respeito a tratamento de resíduos de pneus pós consumo, pois no Brasil as mesmas não são responsáveis diretamente pelo gerenciamento de tais resíduo, sendo a Reciclagem da Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos (RECICLANIP) a responsável pela logística reversa dos pneus usados.

Referente às ações de tratamento de resíduos de pneus relatadas por cada autor (**Figura 4**), estende-se que só foram possíveis porque tais resíduos foram destinados corretamente, independentemente da quantidade.

Identificando pontualmente algumas ações representadas na **Figura 4**, dentre os artigos que ressaltam a importância da reciclagem dos resíduos de pneus resalta-se a pesquisa de Tamayo *et al.* (2021) que descreve o uso de partículas de borracha de pneu em fim de vida na fabricação de pastilhas de freio sustentáveis. Identificando a transformação do resíduo no novo produto pastilhas de freio de possível uso no mesmo nicho automobilístico.

Na desvulcanização de resíduos de pneus, Lin *et al.* (2020) concluem que através dessa tecnologia recuperaram a borracha sintética de estireno-butadieno, caracterizando como alternativa atraente, econômica e sustentável.

Na área da construção civil a adição de borracha triturada de resíduo de pneu pode resultar no concreto emborrachado, material ecologicamente correto que apresenta excelente aplicabilidade (SANTANA; PEREIRA, 2020; BALEA *et al.*, 2021). Dentre as pesquisas que aplicam resíduos de pneus na construção civil elenca-se Fraile-Garcia *et al.* (2016) que analisou a proteção acústica de blocos e tijolos feitos de concreto e resíduo de pneu, e concluem que o percentual de borracha de pneu empregado impacta na qualidade do isolamento acústico, e indicam uso na construção de auditórios, barreiras de som em rodovias, construções domésticas.

Quanto à produção de revestimento asfáltico para estradas com adição de resíduos de pneus, Wang *et al.* (2020) indicam uma demanda otimista capaz de consumir toda a produção de resíduos de pneus na China nos próximos cinco anos, estimando a necessidade futura da China em promover medidas para orientar esse mercado de reciclagem produtor de pó de borracha e para aplicação na produção de estradas. Diante de tal otimismo e da descrição do

artigo entendeu-se que essa pesquisa promove a Reutilização e a Reciclagem, tendo sido o autor mencionado duas vezes na **Figura 4**.

A pirólise trata pneus em fim de vida, transformando-os em produtos de alto valor agregado. A pesquisa desenvolvida por Kubonova *et al.* (2021), em escala laboratorial, considerou adequado misturar lodo de esgoto com pneus usados e rejeitos de papel para aplicações pirolíticas e obter o efeito sinérgico de descarte de certos tipos de resíduos com gerenciamento problemático.

Lonca *et al.* (2018) estudam dados de avaliação do ciclo de vida do pneu no contexto brasileiro com base em estudos de caso realizados em colaboração com a fabricante Michelin comparando o cenário de linha de base com os cenários de redesenhar e reforma/recauchutagem, que são as práticas atuais para pneus de caminhões de transporte no Brasil.

4.5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A EC segue uma utilização racional dos recursos proporcionando que durem o maior tempo possível na economia pois baseia-se em maximizar a utilidade funcional de materiais e energia. Seu emprego minimiza impactos ambientais negativos vivenciados a níveis globais, como o esgotamento dos recursos naturais e a insustentabilidade no uso de recursos não renováveis.

Baseada nos R's, a Economia Circular enfatiza que um produto pode apresentar circularidade ainda na posse do consumidor ao findar a utilização da forma para o qual o mesmo é proposto, e após a destinação final desse resíduo o mesmo poderá passar por inúmeras outras possibilidades de circularidades conforme a hierarquia dos R's, configurando a utilização racional dos recursos e proporcionando que durem o maior tempo possível na economia.

Nessa pesquisa objetivou-se principalmente identificar as tecnologias que promovem a economia circular nos modelos de tratamento dos resíduos de pneus que são apresentadas na literatura através da revisão sistemática da literatura, assim como identificar as ações ambientais desenvolvidas pelas empresas fabricantes de pneus que possuem instalações no território brasileiro por meio da pesquisa secundária.

Julga-se que o objetivo foi alcançado, pois foram encontradas muitas tecnologias descrevendo possibilidades de tratamento e circularidades passíveis de serem aplicadas ao resíduo de pneus, pois conforme indicado por autores existem caminhos preferenciais de gerenciamento dos resíduos de pneus identificados como os hierárquicos R's: Recusar,

Redesenhar, Renovar, Redução, Revender/Reutilizar, Reparar, Recondicionar, Remanufatura e Reaproveitar, Reciclar, Retirar. Essa hierarquia proposta proporciona a recuperação dos materiais componente do pneu e/ou seu aproveitamento energético. Na literatura a reciclagem dos pneus inservíveis é o R mais estudado, com variados usos e aplicações de reciclagem do pneu inservível. Já o alto poder calorífico dos pneus direciona estudos de aproveitamento energético principalmente pela técnica de pirólise, e também pela técnica da incineração, que resultam também em subprodutos como óleos, dos quais também já se pontuam estudos analisando o reaproveitamento desses.

Através da revisão sistemática da literatura (RSL) foram elencadas muitas tecnologias desenvolvidas para tratamento dos resíduos de pneus desenvolvidas sob o olhar da sustentabilidade e da EC. No entanto, na base de dados não foram encontradas pesquisas voltadas para os R0: recusar, R2: reutilizar/revender pneus descartados, R5: Remanufatura recauchutando pneus descartados e R6: reaproveitar para uso alternativo, conforme a descrição hierárquica dos R's proposta por Reike *et al.* (2018). Identificando assim que essa é uma promissora lacuna de pesquisa referente a problemática do gerenciamento dos resíduos de pneus.

Quanto à segunda parte do objetivo principal, através da pesquisa secundária foi possível obter as informações sobre as ações que as empresas fabricantes de pneus no território brasileiro executam a nível nacional. De modo geral observou-se que nos *websites* de todas as empresas fabricantes pesquisadas apresentaram informações descrevendo ações que executam ou que já executaram referente a temática macro de sustentabilidade e de EC, o grande diferencial entre os *websites* é que alguns possuíam publicações com informações antigas e que em outros *websites* observou-se informações atualizadas, muitas vezes com datas, e esclarecendo as ações executadas a nível nacional e as ações globais executadas pelos grupos e multimarcas. No entanto, também se observou limitações na pesquisa por dados secundários nos *websites* de algumas das empresas fabricantes de pneus novos no Brasil, pois algumas disponibilizam em seus *websites* pouquíssimas informações referentes a ações que referenciam a proposta principal desta pesquisa. Dessa forma sugere-se que as empresas fabricantes desenvolvam uma comunicação via *website* mais completas e esclarecedora.

No Brasil os ganhos ambientais referentes ao gerenciamento de resíduos sólidos têm avançado desde a aprovação da Lei Federal 12.305/2010, que possibilitou a existência da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) (BRASIL, 2010), marco legislativo impulsionador da circularidade na cadeia produtiva, que incentiva pesquisas e análises

acadêmicas, desenvolvimento de tecnologias, formulação de políticas complementares, responsabilidade empresarial, civil e pública.

Assim essa pesquisa contribui para a literatura sobre sustentabilidade e Economia Circular para resíduos de pneus baseada em percepções abrangentes e valiosas na área de gerenciamento de resíduos, e analisando informações relevantes sobre as ações desenvolvidas pelas empresas fabricantes de pneus instaladas no Brasil.

4.6. REFERÊNCIAS

AL-SALEM, S. M. Valorisation of End of Life Tyres (ELTs) in a Newly Developed Pyrolysis Fixed-Bed Batch Process. **Process Safety and Environmental Protection**, v. 138, p. 167 – 175, 6 2020. Disponível em: <https://doi.org/10:1016/j:psep:2020:03:020>. Acesso em: 26 janeiro 2022.

ALMEIDA, A. et al. Possibility of incorporating waste plastic film flakes into warm-mix asphalt as a bitumen extender. **Construction and Building Materials**, v. 291, p. 123384 –, 7 2021. Disponível em: <https://doi.org/10:1016/j:conbuildmat:2021:123384>. Acesso em: 26 janeiro 2022.

AMICK, S. 2018. Sustainability: A driving force for the U.S tire manufacturing industry', U.S. Tire Manufacturers Association. Disponível em: <https://www.ustires.org/sustainability-driving-force-us-tire-manufacturing-industry>. Accessed 27 10 2021.

ANIP – Associação Nacional da Indústria de Pneus. INSTITUCIONAL. 2021. <https://www.anip.com.br/>

ANTONIOU, N.; ZABANIOTOU, A. Experimental proof of concept for a sustainable End of Life Tyres pyrolysis with energy and porous materials production. **Sustainability**, v. 101, p. 323 – 336, 8 2015. Disponível em: <https://doi.org/10:1016/j:jclepro:2015:03:101>. Acesso em: 05 março 2022.

ANTONIOU, N. A.; ZORPAS, A. A. Quality protocol and procedure development to define end-of-waste criteria for tire pyrolysis oil in the framework of circular economy strategy. **Waste Management**, v. 95, p. 161 – 170, 7 2019. Disponível em: <https://doi.org/10:1016/j:wasman:2019:05:035>. Acesso em: 8 abril 2021.

ARAÚJO-MORERA, J. et al. Sustainable mobility: The route of tires through the circular economy model. **Waste Management**, v. 126, p. 309 – 322, Março 2021. Disponível em: <https://doi.org/10:1016/j:wasman:2021:03:025>. Acesso em: 26 janeiro 2022.

BAGHERI, M. et al. Towards a circular economy: A comprehensive study of higher heat values and emission potential of various municipal solid wastes. **Waste Management**, v. 101, p. 210 – 221, 1 2020. Disponível em: <https://doi.org/10:1016/j:wasman:2019:09:042>. Acesso em: 26 janeiro 2022.

BALEA, A. et al. Recycled Fibers for Sustainable Hybrid Fiber Cement Based Material: A Review. **Materials**, v. 14, n. 9, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10:3390/ma14092408>. Acesso em: 26 janeiro 2022.

- BOCKSTAL, L. et al. Devulcanisation and reclaiming of tires and rubber by physical and chemical processes: A review. **Journal of Cleaner Production**, v. 236, p. 117574 –, 11 2019. ISSN 0959-6526. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro:2019:07:049>. Acesso em: 5 março 2022.
- BOWLES, A. J. et al. Sustainable rubber recycling from waste tyres by waterjet: A novel mechanistic and practical analysis. **Sustainable Materials and Technologies**, v. 25, 9 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.susmat:2020:e00173>. Acesso em: 26 janeiro 2022.
- BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE- MMA. Lei Nº 12.305, de 02 de agosto de 2010: Estabelece multa em operações de importação, e dá outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 03 de agosto de 2010, 2010.
- BRIDGESTONE 2021. Notícias. Disponível em <<https://www.bridgestone.com.br/pt/sobrenos/noticias>>. Acesso em 19-01-2022.
- BUREN, N. V. et al. Towards a Circular Economy: The Role of Dutch Logistics Industries and Governments. **Sustainability**, v. 8, n. 7, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su8070647>. Acesso em: 26 janeiro 2022.
- CAMPBELL-JOHNSTON, K. et al. How circular is your tyre: Experiences with extended producer responsibility from a circular economy perspective. **Journal of Cleaner Production**, v. 270, p. 122042 –, 10 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro:2020:122042>. Acesso em: 26 janeiro 2022
- CARDONA-URIBE, N.; BETANCUR, M.; DANIEL MARTÍNEZ, J. Towards the chemical upgrading of the recovered carbon black derived from pyrolysis of end-of-life tires. **Sustainable Materials and Technologies**, v. 28, 7 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.susmat:2021:e00287>. Acesso em: 26 janeiro 2022.
- CHARLTON, A. Book Review: Doing Your Literature Review: **Traditional and Systematic Techniques**. v. 12, n. 2, p. 54 – 55, 2012.
- CHEW, K. W. et al. Abatement of hazardous materials and biomass waste via pyrolysis and co-pyrolysis for environmental sustainability and circular economy. **Environmental Pollution**, v. 278, p. 116836 –, 6 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envpol:2021:116836>. Acesso em: 26 janeiro 2022
- DANIEL MARTÍNEZ, J. An overview of the end-of-life tires status in some Latin American countries: Proposing pyrolysis for a circular economy. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 144, p. 111032 –, 7 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rser:2021:111032>. Acesso em: 05 março 2022.
- DANIEL MARTÍNEZ, J. et al. Waste tire valorization by intermediate pyrolysis using a continuous twin-auger reactor: Operational features. **Waste Management**, v. 113, p. 404 – 412, 7 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.wasman:2020:06:019>. Acesso em: 22 abril 2022.
- DOBROTA, D.; DOBROTA, G.; DOBRESCU, T. Improvement of waste tyre recycling technology based on a new tyre markings. **Journal of Cleaner Production**, v. 260, p. 121141 –, 7 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro:2020:121141>. Acesso em: 2 maio 2021

- DONG, L. *et al.* Promoting low-carbon city through industrial symbiosis: A case in China by applying HPIMO model. **Energy Policy**, v. 61, p. 864 – 873, 10 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.06.084> . Acesso em: 26 janeiro 2022.
- DUNLOP. Compromisso com preservação do meio ambiente. 2021. Disponível em: <https://www.dunloppneus.com.br/blog/post/dunlop-reforca-compromisso-com-preservacao-do-meio-ambiente> . Acesso em 19-01-2022.
- DURIAU, V. J.; REGER, R. K.; MICHAEL, D. A Content Analysis of the Content Analysis Literature in Organization Studies: research themes, data sources, and methodological refinements. **Organizational Research Methods**, v. 10, n. 1, p. 5 – 34, jan 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/1094428106289252>. Acesso em: 21 nov. 2021.
- ELIA, V.; GNONI, M. G.; TORNESE, F. Measuring circular economy strategies through index methods: A critical analysis. **Journal of Cleaner Production**, v. 142, p. 2741 – 2751, 1 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.10.196>. Acesso em: 26 janeiro 2022.
- FAZLI, A.; RODRIGUE, D. Recycling Waste Tires into Ground Tire Rubber (GTR)/Rubber Compounds: A Review. **Composites Science**, v. 4, n. 3, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/jcs4030103>. Acesso em: 26 janeiro 2022.
- FEIZI, F. *et al.* Environmental remediation in circular economy: End of life tyre magnetic pyrochars for adsorptive removal of pharmaceuticals from aqueous solution. **Science of The Total Environment**, v. 739, p. 139855 –, 10 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139855>. Acesso em: 26 janeiro 2022.
- FERDOUS, W. *et al.* Recycling of landfill wastes (tyres, plastics and glass) in construction – A review on global waste generation, performance, application and future opportunities. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 173, p. 105745 –, 10 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105745>. Acesso em: 26 janeiro 2022.
- FIKSEL, J. *et al.* Comparative life cycle assessment of beneficial applications for scrap tires. **Clean Technologies and Environmental Policy**, v. 13, p. 19 – 35, Março 2010. Disponível em: <https://doi-org:ez98:periodicos:capes:gov:br/10:1007/s10098-010-0289-1>. Acesso em: 16 mar 2022.
- FRAILE-GARCIA, E. *et al.* materials Acoustic Behavior of Hollow Blocks and Bricks Made of Concrete Doped with Waste-Tire Rubber. **Materials**, v. 9, n. 12, p. 916 –, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ma9120962>. Acesso em: 8 abril 2022.
- FRANCO, S. C. *et al.* Plano de Gestão de Logística Sustentável e seus indicadores: o conteúdo mínimo de divulgação, conscientização e capacitação nas universidades federais brasileiras. *Revista Gestão Universitária na América Latina, Florianópolis(SC)*, v. 10, n. 4, p. 204 – 226, 2017. ISSN 1983-4535. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5007/1983-4535:2017v10n4p204>. Acesso em: jun. 2021.
- GEISSDOERFER, M. *et al.* The Circular Economy – A new sustainability paradigm? **Journal of Cleaner Production**, v. 143, p. 757 – 768, 2 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.048>. Acesso em: 26 janeiro 2022.
- GHISELLINI, P.; CIALANI, C.; ULGIATI, S. A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. **Journal of**

Cleaner Production, v. 114, p. 11 – 32, 2 2016. Disponível em:

<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.007>. Acesso em: 26 janeiro 2022.

GIGLI, S.; LANDI, D.; GERMANI, M. Cost-benefit analysis of a circular economy project: a study on a recycling system for end-of-life tyres. **Journal of Cleaner Production**, v. 229, p. 680 – 694, 8 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.223>. Acesso em: 2 maio 2021.

GOODYEAR. FONTE SUSTENTÁVEL. 2021. Disponível em:

<https://corporate.goodyear.com/us/en/responsibility/sustainable-sourcing.html>. Acesso em: 19-01-2022.

GOBETTI, A.; CORNACCHIA, G.; RAMORINO, G. Innovative Reuse of Electric Arc Furnace Slag as Filler for Different. **Polymer Matrixes**. v. 11, 2021. Disponível em:

<https://doi.org/10.3390/min11080832>. Acesso em 25 março 2022.

GUMEDE, J. I. et al. Organic chemical devulcanization of rubber vulcanizates in supercritical carbon dioxide and associated less eco-unfriendly approaches: A review. **Waste Management & Research**, 2021. Disponível em:

<https://doi.org/10.1177/0734242X211008515>. Acesso em: 05 março 2022.

HUANG, W. Sustainable management of different systems for recycling end-of-life tyres in China. **Waste Management & Research**, v. 39, n. 7, p. 966 – 974, 2021. Disponível em:

<https://doi.org/10.1177/0734242X20976976>. Acesso em: 26 janeiro 2022.

HUGO, A. D. A.; NADAE, J. D.; LIMA, R. D. S. sustainability Can Fashion Be Circular? A Literature Review on Circular Economy Barriers, Drivers, and Practices in the Fashion Industry's Productive Chain. **Sustainability**, v. 13, n. 21, p. 12246 –, 2021. Disponível em:

<https://doi.org/10.3390/su132112246>. Acesso em: 5 março 2022

KHAN, M. A. *et al.* Review on upgradability – A product lifetime extension strategy in the context of product service systems. **Journal of Cleaner Production**, v. 204, p. 1154 – 1168, 12 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.329>. Acesso em: 18 março 2022.

KHUDYAKOVA, T.; SHMIDT, A.; SHMIDT, S. SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF SMART CITIES IN THE CONTEXT OF THE IMPLEMENTATION OF THE TIRE RECYCLING PROGRAM. **Entrepreneurship And Sustainability Issues**, v. 8, n. 2, p. 698 – 715, 2020. ISSN 2345-0282. Disponível em: [http://doi.org/10.9770/jesi:2020:8:2\(42\)](http://doi.org/10.9770/jesi:2020:8:2(42)). Acesso em: 26 janeiro 2022.

KORNIEJENKO, K. et al. Tackling the Circular Economy Challenges-Composites Recycling: Used Tyres, Wind Turbine Blades, and Solar Panels. **Composites Science**, v. 5, n. 9, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/jcs5090243>. Acesso em: 26 janeiro 2022.

KUBONOVA, L. *et al.* Evaluation of Waste Blends with Sewage Sludge as a Potential Material Input for Pyrolysis. **Applied Science**, v. 11. 2021. Disponível em:

<https://doi.org/10.3390/app11041610>. Acesso em 26 março 2022.

KUMAWAT, P. et al. The use of recycled elastomeric materials for sustainability in circular economy. **Polymer**, v. 61, n. 12, p. 3147 – 3162, 2021. Disponível em:

<https://doi.org/10.1002/pen.25827>. Acesso em: 26 janeiro 2022.

LANDI, D. et al. Investigating the feasibility of a reuse scenario for textile fibres recovered from end-of-life tyres. **Waste Management**, v. 75, p. 187 – 204, 5 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.02.018>. Acesso em: 8 abril 2021.

LETELIER, V. et al. Evaluation of mortars with combined use of fine recycled aggregates and waste crumb rubber. **Journal of Building Engineering**, v. 43, p. 103226 –, 11 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2021.103226>. Acesso em: 26 janeiro 2022

LIN, Y. et al. The Viable Fabrication of Gas Separation Membrane Used by Reclaimed Rubber from Waste Tires. **Polymers**, v. 12, n. 11, p. 2540 –, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/polym12112540>. Acesso em: 4 dez 2021.

LONCA, G. *et al.* Does material circularity rhyme with environmental efficiency? Case studies on used tires. **Journal of Cleaner Production** , v. 183, p. 424 – 435, 5 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.02.108>. Acesso em: 26 março 2022.

MARKL, E.; LACKNER, M. materials Devulcanization Technologies for Recycling of Tire-Derived Rubber: A Review. **Materials**, v. 13, n. 5, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ma13051246>. Acesso em: 26 janeiro 2022.

MAGGION Pneus e câmaras. Pneus com qualidade e tecnologia maggion. 2021. Disponível em: <https://www.maggion.com.br/diferenciais-vantagens>. Acesso em 19 janeiro 2022.

MCARTHUR, E. Fundação Ellen McArthur. 2019. Disponível em: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/pt/fundacao-ellen-macarthur/a-fundacao>. Acesso em: 10 novembro 2021.

MINAYO, M. C. de S.; SANCHES, O. Quantitativo, qualitativo: oposição e complementariedade? Metodologia de Pesquisa Qualitativa em saúde. **Cadernos de saúde pública, Rio de Janeiro**, v. 9, p. 239 – 262, jul/set 1993. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/csp/a/Bgpmz7T7cNv8K9Hg4J9fJDb/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 2 maio 2021.

MICHELIN. 2021. SUSTENTABILIDADE- Mobilidade e sustentabilidade rodando juntas. Disponível em: <https://www.michelin.com.br/corporativo/sustentabilidade>. Acesso em 19-01-2022.

MOULIN, L. et al. Assessment of Recovered Carbon Black Obtained by Waste Tires Steam Water Thermolysis: An Industrial Application. **Waste and Biomass Valorization**, v. 8, p. 2757–2770 – 2770, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12649-016-9822-8>. Acesso em: 8 abril 2021.

NADAE, J. de; CARVALHO, M. M.; VIEIRA, D. R. Exploring the influence of environmental and social standards in integrated management systems on economic performance of firms. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 30, n. 5, p. 840 – 861, 2019. ISSN 1741-038X. Disponível em: DOI10:1108/JMTM-06-2018-0190. Acesso em: 2 maio 2021.

PAWELSKA-MAZUR, M.; KASZYNSKA, M. materials Mechanical Performance and Environmental Assessment of Sustainable Concrete Reinforced with Recycled End-of-Life Tyre Fibres. **Materials**, v. 14, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ma14020256>. Acesso em: 05 março 2022.

- PICADO-SANTOS, L. G.; CAPITÃO, S. D.; NEVES, J. M. Crumb rubber asphalt mixtures: A literature review. **Construction and Building Materials**, v. 247, p. 118577 –, 6 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118577>. Acesso em: 05 março 2022.
- PIRELLI. 2021. PIRELLI PRODUZ. Disponível em: <https://www.pirelli.com/global/pt-br/life/pirelli-produz-o-primeiro-pneu-com-certificacao-fsc-do-mundo>. Acesso em 19-01-2022.
- RECICLANIP – Reciclagem da Associação Nacional da Indústria de Pneus. Reciclagem. 2021. Disponível em: <https://www.reciclanip.org.br/>. Acesso em 19 janeiro 2022.
- REIKE, D.; VERMEULEN, W. J.; WITJES, S. The circular economy: New or Refurbished as CE 3.0? — Exploring Controversies in the Conceptualization of the Circular Economy through a Focus on History and Resource Value Retention Options. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 135, p. 246 – 264, 8 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.08.027>. Acesso em: 05 março 2022.
- RINALDI. 2021. Uma marca sustentável. Disponível em: <http://www.rinaldi.com.br/noticia/trs-atitudes-que-mostram-que-a-rinaldi-pneus--uma-marca-sustentvel>. Acesso em 19-01-2022.
- SANTANA, T. da S.; PEREIRA, C. H. de A. F. Avaliação da influência da utilização de agregado miúdo reciclado em argamassas estabilizadas. v. 20, n. 3, p. 305 – 318, 7 2020. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1678-86212020000300305&tlng=pt. Acesso em: 5 abril 2021.
- SAPUTRA, R. et al. Current progress in waste tire rubber devulcanization. **Chemosphere**, v. 265, p. 129033 –, 2 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.129033>. Acesso em: 5 março 2022.
- SIENKIEWICZ, M. et al. Progress in used tyres management in the European Union: A review, **Waste Management**, Volume 32, Issue 10, 2012, Pages 1742-1751, ISSN 0956-053X. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X1200219X>. Acesso em 02 maio 2021.
- SWIECHOWSKI, K. et al. Low-Temperature Pyrolysis of Municipal Solid Waste Components and Refuse-Derived Fuel-Process Efficiency and Fuel Properties of Carbonized Solid Fuel. **Data**, v. 5, p. 48 –, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/data5020048>. Acesso em: 05 março 2022.
- TAMAYO, A. et al. Preparation and Properties of Sustainable Brake Pads with Recycled End-of-Life Tire Rubber Particles. **Polymers**, v. 13, n. 3371, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/polym13193371>. Acesso em: 26 janeiro 2022.
- TARSI, G. et al. A Study of Rubber-REOB Extender to Produce Sustainable Modified Bitumens. **Applied Sciences**, v. 10, n. 4, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/app10041204>. Acesso em: 26 janeiro 2022.
- TITAN. 2021. Responsabilidade ambiental. Disponível em: <https://www.titanlat.com/home/institucional/responsabilidade-ambiental>. Acesso em 19-01-2022.

TORTUGA. 2021. Certificações. Disponível em: <http://tortugaonline.com.br/certificacoes/>. Acesso em 19-01-2022.

TRANFIELD, D.; DENYER, D.; SMART, P. Towards a Methodology for Developing Evidence-Informed Management Knowledge by Means of Systematic Review. v. 14, n. 3, p.207 – 222, 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/1467-8551:00375>. Acesso em: 26 janeiro 2022.

URREGO-YEPES, W. et al. Incorporating the recovered carbon black produced in an industrial-scale waste tire pyrolysis plant into a natural rubber formulation. **Journal of Environmental Management**, v. 287, p. 112292 –, 6 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112292>. Acesso em: 8 março 2022.

VEDRTNAM, A.; BEDON, C.; BARLUENGA, G. Study on the Compressive Behaviour of Sustainable Cement-Based Composites under One-Hour of Direct Flame Exposure. **Sustainability**, v. 12, n. 24, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su122410548>. Acesso em: 05 março 2022.

WANG, Q. Z. et al. Waste tire recycling assessment: Road application potential and carbon emissions reduction analysis of crumb rubber modified asphalt in China. **Journal of Cleaner Production**, v. 249, p. 119411 –, 3 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119411>. Acesso em: 2 maio 2021.

WINDLE, P. E. Secondary Data Analysis: Is It Useful and Valid? **Journal of Perianesthesia Nursing**, v. 25, n. 5, p. 322 – 324, 10 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jopan.2010.07.005>. Acesso em: 05 março 2022.

YIN, P. et al. Minimizing the Makespan in Flowshop Scheduling for Sustainable Rubber Circular Manufacturing. **Sustainability**, v. 13, n. 5, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su13052576>. Acesso em: 8 abril 2021.

ZHANG, Y. et al. Effective Thermal-Oxidative Reclamation of Waste Tire Rubbers for Producing High-Performance Rubber Composites. *American Chemical Society Sustainable Chem. Eng.*, v. 8, n. 9079-9087, 2020. ISSN 9079–9087. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.1021/acssuschemeng.0c02292>. Acesso em: 2 maio 2021.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa apresentada descreve o gerenciamento de resíduos de pneus executado a nível nacional, estadual, local e municipal, apresentando dados novos obtidos através da compilação e união de dados existentes na literatura, e do estudo de caso realizado.

Quanto a gestão implantada nacionalmente, o sistema de *Extended Producer Responsibility - EPR* baseou a elaboração da política ambiental brasileira de gerenciamento de resíduos de pneus. Sendo os fabricantes e importadores de pneus novos os majoritários responsáveis pela execução da logística reversa de tais resíduos, compartilhando a responsabilidade entre os demais *stakeholder* envolvidos em todo o ciclo de vida do produto, devendo esses destinar os resíduos de pneus até os pontos de coleta para que sejam armazenados, transportados, e transformados ou descartados de forma ambientalmente adequada.

A elaboração do inventário do gerenciamento dos resíduos de pneus brasileiro, através da análise documental dos relatórios de destinação publicados pelo IBAMA nos anos de 2010 a 2020, proporcionou identificar que a logística reversa executada no Brasil resultou em grandes quantitativos de destinação final ambientalmente adequada por meio do tratamento por tecnologias como o coprocessamento, reciclagem/granulação, laminação, pirólise, regeneração da borracha e industrialização do xisto, apresentadas na **Tabela 2**, sendo que as duas últimas tecnologias de destinação estão em desuso a mais de quatro anos.

Ainda através do inventário elaborado nessa pesquisa, observa-se que existe um gerenciamento implantado e em execução por meio da logística reversa em todas as regiões brasileiras, no entanto observou-se uma descontinuidade desse gerenciamento e falha na prestação de informações ao identificar que os relatórios não apresentam os quantitativos de resíduos de pneus destinados em alguns anos para alguns estados brasileiros, e que existem três estados da região norte, são eles o Acre, Amapá e Roraima, nunca apresentaram nenhuma informação ao decorrer do período de outubro de 2009 a dezembro de 2019.

Já através do estudo de caso desenvolvido a nível municipal e local percebeu-se que os quantitativos de resíduos de pneus destinados corretamente oscilam muito com o passar dos tempos/anos, e que a alocação de pontos de coleta de resíduos pneumáticos é um grande problema na implementação e execução da logística reversa de pneus inservíveis. Positivamente, percebeu-se que o gerenciamento de resíduos de pneus executado pelos consórcios de resíduos sólidos diminui alguns problemas relacionados ao gerenciamento destes e incentiva municípios a iniciarem a execução e a computar a destinação ambientalmente

adequada dos mesmos.

Quanto ao gerenciamento a nível local e/ou municipal, entende-se que é necessário incentivo e intensificação na execução, visando diminuir os fluxos dispersos de disposição final inadequada dos resíduos de pneus, e o aumento no quantitativo de destinação adequada desses. De forma que conseqüentemente, resultará em maior quantidade de resíduos de pneus tratados por meio de tecnologias ambientalmente adequadas executadas nacionalmente, podendo resultar também no aumento da disponibilidade de matéria-prima de pneu reprocessada no mercado produtivo.

Sobre a não geração ou a destinação final dos resíduos de pneus, deverá prioritariamente seguir a hierarquia dos 12R's, conforme segue: Redesenhar, Renovar, Recusar, Reduzir, Revender/Reutilizar, Reparar, Recondicionar, Remanufaturar, Reaproveitar, Reciclar, Recuperar e Retirar. No entanto, pela Revisão Sistemática da Literatura (RSL), observou-se que tal hierarquia não é priorizada, de forma que as tecnologias por meio da reciclagem e reutilização são as mais estudadas e executadas conforme resumo destacado no **Quadro 2**. Ainda quanto a RSL, na base de dados analisada não foram encontradas pesquisas voltadas para os R's de recusar; reutilizar/revender pneus descartados; remanufaturar recauchutando pneus descartados; nem para reaproveitar em uso alternativo, indicando assim grandes áreas para pesquisas inovadoras.

Entende-se que a hierarquia dos 12R's proporciona inúmeras possibilidades de circularidade do pneu usado, aquele que não serve mais para rodagem em veículos que era a sua proposição inicial, podendo então ser reutilizado para diversos fins, ou ainda ser reinserido como matéria prima reprocessada na cadeia produtiva novamente, antes de ser descartado.

Assim, conclui-se que o gerenciamento de forma ambientalmente inadequada dos resíduos de pneus poderá gerar severos danos ambientais, sociais e econômicos, infringindo assim a sustentabilidade, situações que podem ser evitadas através do incentivo e execução de práticas circulares de produção que propõem-se a aproveitar os recursos ao máximo. Sendo a Economia Circular (EC) para os resíduos de pneus um método de produção amplamente defendida, visando desacelerar e fechar os ciclos produtivos, além de maximizar a utilidade funcional de materiais e energia e minimizar os impactos negativos.

Propõem-se com esse estudo compreender a geração, os aproveitamentos e as destinações finais que podem ser dados aos resíduos pneumáticos. Assim, estima-se que as análises deste estudo ajudarão os pesquisadores e usuários finais a entender as possibilidades da transformação desses resíduos pneumáticos, impulsionando a busca pela circularidade da

matéria-prima e o aproveitamento energético em todas as fases do ciclo produtivo e do ciclo de vida do produto através da economia circular.

Como proposta para estudos futuros, sugere-se:

- ✓ Elaborar o levantamento quantitativo dos demais municípios da Região Metropolitana do Cariri, para avaliar o potencial de geração e destinação dos resíduos pneumáticos;
- ✓ Elaboração de pesquisa junto as empresas comercializadoras de pneus novos para os primeiros clientes do produto, visando conhecer o comportamento do comerciante e do consumidor quanto ao gerenciamento dos resíduos de pneus;
- ✓ Elaborar pesquisa para conhecer a economia circular nas empresas especializadas em transformar os resíduos de pneus em matéria-prima pronta para ser empregada em novos processos produtivos;
- ✓ Elaborar pesquisa para conhecer a economia circular na fabricação de produtos que empregam matéria prima reprocessada a partir de resíduos de pneus e demais empresas destinadoras finais de resíduos pneumáticos em âmbito nacional.

REFERÊNCIAS DA INTRODUÇÃO GERAL

ARAUJO-MORERA, J. *et al.* Sustainable mobility: The route of tires through the circular economy model. **Waste Management**, v. 126, p. 309 – 322, Março 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.03.025>. Acesso em 26 janeiro 2022.

AVILÉS-PALACIOS, C.; RODRÍGUEZ-OLALLA, A. The Sustainability of Waste Management Models in Circular Economies. **Sustainability**, v. 13, 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3390/su13137105>. Acesso em: 4 dez 2021.

BRASIL. Lei 12.305/2010 - Política Nacional de Resíduos Sólidos. **Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos**, Brasília, Agosto 2010. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/residuos-solidos/politica-nacional-de-residuos-solidos>.

CHERUBINI, F.; BARGIGLI, S.; ULGIATI, S. Life cycle assessment (LCA) of waste management strategies: Landfilling, sorting plant and incineration. v. 34, n. 12, p. 2116 – 2123, 12 2009. Acesso em: 26 janeiro 2022.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. Resolução Nº 416/09. Brasília, 2009.

GOMES, T. S. *et al.* End-of-Life Tire Destination from a Life Cycle Assessment Perspective. **New Frontiers on Life Cycle Assessment**, Janeiro 2019. Disponível em: DOI:10:5772/intechopen:82702. Acesso em: 4 dez 2021.

LEITE, P. R. **Logística Reversa: Meio Ambiente e Competitividade**. 1. ed. São Paulo: Prentice Hall, 2003. ISBN 85-87918-62-1.

OKAFOR, C. *et al.* Implementation of circular economy principles in management of end-of-life tyres in a developing country (Nigeria). **AIMS Environmental Science**, v. 7, n. 5, p.406 – 433, October 2020. ISSN 2333-8334. Disponível em: doi:10:3934/environsci:2020027. Acesso em: 4 dez 2021.

RECICLAGEM DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA DE PNEUS RECICLANIP. **Ciclo de vida do pneu**. 2021. Disponível em: <https://www.reciclanip.org.br/>. Acesso em: 2 maio 2021.

SIENKIEWICZ, M. *et al.* Progress in used tyres management in the European Union: A review, **Waste Management**, Volume 32, Issue 10, 2012, Pages 1742-1751, ISSN 0956-053X. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X1200219X>>. Acesso em 02 maio 2021.