

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
DOUTORADO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

ANDRÉ HEKERMANN BUSS

**RECICLAGEM DE PNEUS EM FIM DE VIDA VISANDO A FÁCIL
TRANSFERÊNCIA DE TECNOLOGIA**

TESE

PONTA GROSSA

2021

ANDRÉ HEKERMANN BUSS

**RECICLAGEM DE PNEUS EM FIM DE VIDA VISANDO A FÁCIL
TRANSFERÊNCIA DE TECNOLOGIA**

Tire recycling at the end of life for easy transfer of technology

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, como requisito à obtenção do título de Doutor em Engenharia de Produção, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Área de Concentração: Transferência de Tecnologia

Orientador: Prof. Dr. João Luiz Kovaleski

Coorientadora: Profa. Dra. Regina Negri Pagani

PONTA GROSSA

2021



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es) e que licenciem as novas criações sob termos idênticos. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

03/05/2021



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Ponta Grossa



ANDRÉ HEKERMANN BUSS

**RECICLAGEM DE PNEUS EM FIM DE VIDA VISANDO A FÁCIL TRANSFERÊNCIA DE
TECNOLOGIA**

Trabalho de pesquisa de doutorado apresentado como requisito para obtenção do título de Doutor em Engenharia de Produção da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Área de concentração: Gestão Industrial.

Data de aprovação: 19 de Fevereiro de 2021

Prof. Joao Luiz Kovaleski, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Adilson Luiz Chinelatto, Doutorado - Universidade Estadual de Ponta Grossa (Uepg)

Prof. Anderson Geraldo Marena Pukasiewicz, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Gilberto Zammar, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Luis Antonio Pinheiro, Doutorado - Universidade Estadual de Ponta Grossa (Uepg)

Prof.a Regina Negri Pagani, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Documento gerado pelo Sistema Acadêmico da UTFPR a partir dos dados da Ata de Defesa em 26/04/2021.

Dedico este trabalho à minha família (Jocelaine, Vitor e Alicia Buss), minha mãe (Maria Ivanir Martins Buss), que faleceu no decorrer desta jornada, e aos meus orientadores (Kovaleski e Regina Pagani), pois tenho convicção que sem o apoio deles não chegaria até este momento.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente ao Pai Celestial, por ter aberto as portas deste caminho, e por ter me guiado até este momento único.

Ao meu orientador, Prof. Dr. João Luiz Kovaleski, um profissional de sucesso, pela sua colaboração, paciência e aconselhamento ímpar.

A minha coorientadora Prof^a Dr^a Regina Negri Pagani, pelo imenso apoio incondicional na execução deste trabalho, sua persistência e relevantes aconselhamentos.

Aos Professores Dr. Luiz Antonio Pinheiro e Dr. Adilson Chinelatto por sua disponibilidade e boa vontade em somar para esta pesquisa ao fazer parte da defesa dessa tese.

Aos professores, Dr^a Daiane Maria De Genaro Chiroli, Dr. Gilberto Zammar, Dr. Anderson Geraldo Marena Pukasiewicz e Dr. Gilberto Zammar pelas dicas e substancial apoio durante percurso do doutorado, em especial durante qualificação desta tese.

Aos colegas do Grupo de Pesquisa em Gestão de Transferência de Tecnologia pela oportunidade de compartilhar conhecimentos e experiências. Aos amigos Alana Corsi, Vander Luiz da Silva e Jaqueline Mattos, de forma especial.

A minha querida mãe Maria Ivanir Martins Buss, que desde a infância me incentivou aos estudos e a pesquisa, tendo paciência até quando queimei cortinas e causei explosões em nossa casa, devido a ânsia de fazer pesquisa. Ela faleceu quando estava cursando o doutorado e sempre estava me incentivando a concluir meus estudos.

Agradeço de forma também especial a minha família, iniciando pela figura da minha esposa Jocelaine Aparecida Buss, a quem amo e me apoiou enormemente nesse projeto de vida, passando pelas alegrias e dores em conjunto comigo.

Aos meus maravilhosos filhos, Vitor Hekermann Buss (14 anos) e Alicia Buss (7 anos), que mesmo não tendo a compressão global do que esse doutorado representa, estiveram presentes na minha vida me incentivando com sorrisos e abraços, além de abrirem mão de muitos momentos em família, e brincadeiras.

A todos meus educadores e professores, pelo conhecimento e contribuições, que possibilitaram chegar até aqui e a conclusão desse estudo.

Aos colaboradores do PPGEP, pelos seus serviços e suporte, em diferentes momentos sempre me atendendo com cordialidade, até em momentos difíceis.

Enfim, a todos que de alguma forma contribuíram, seja com disponibilidade de tempo ou uma palavra de incentivo.

“Nenhum sucesso na vida compensa o fracasso no lar”.
(David O. McKay)

RESUMO

Devido ao aumento da produção de veículos automotores, é gerada uma grande quantidade de resíduos com diferentes características e composições, notadamente advindo de pneus em fim de vida, que são prejudiciais ao meio ambiente quando não descartados de forma adequada. Sua composição contém elementos químicos contaminantes, resultando em impactos negativos ao meio ambiente. Esta pesquisa tem como objetivo apresentar um processo que favoreça a reciclagem de Pneus em fim de vida, onde haja facilidade para a transferência da tecnologia da técnica utilizada. Para a construção do estado da arte e do estado da técnica, foi feita uma revisão da literatura sobre borracha para Pneus em fim de vida e uma busca no *Google Patents* e *Espacenet* usando a *Methodi Ordinatio*. Para o trabalho experimental, foram feitas amostras utilizando concentrações de 20%, 40% e 60% de partículas de borracha de Pneu em fim de vida, com adição de matriz polimérica termofixa de resina de poliéster isoftálica, catalisador, corantes e material decorativo. Os resultados dos testes indicam que a composição com 60% de partículas de borracha de pneus inservíveis apresentou melhores resultados nas interpretações dos ensaios mecânicos, do que as amostras contendo 20% e 40%. Os ensaios realizados nesse trabalho são os de Resistência a Deflexão, Resistência a Dureza Shore D, Resistência ao Impacto Izod, Densidade por imersão, Resistência a compressão, Determinação da temperatura de amolecimento Vicat, Microscopia eletrônica de varredura (MEV) e a determinação da resistência a Deflexão térmica (HDT). Os testes também mostram que as partículas de resíduos de Pneu em fim de vida promovem a adsorção química (interação) com a matriz polimérica termofixa, favorecendo as propriedades mecânicas. Os resultados finais desta pesquisa são: a revisão da literatura e a busca por patentes concedidas mostraram que este estudo é original; o trabalho experimental sugere que aplicações práticas são possíveis, gerando um produto, com uma proporção de 60% de partículas de resíduos de borracha de pneus, conforme indicado pelos testes, com uma superfície lisa que não requer polimento e apresenta controle das superfícies geradas. Com essa pesquisa, pode-se verificar a possibilidade de se ter uma transferência de tecnologia junto a empresas, governos e por meios acadêmicos. A transferência de tecnologia foi efetivada com a publicação de artigos e a presença desta tese. Assim, esta pesquisa caracteriza-se como inovadora e também com características sustentáveis e de transferência da tecnologia apresentada nessa tese.

Palavras-chave: Pneus em fim de vida. Partículas de borracha. Borracha para pneus. Reciclagem de pneus. Materiais sustentáveis.

ABSTRACT

Due to the increased production of motor vehicles, a large amount of waste is generated with different characteristics and compositions, notably from end-of-life tires, which are harmful to the environment when not disposed of properly. Its composition contains contaminating chemical elements, resulting in negative impacts to the environment. This research aims to present a process that favors the recycling of end-of-life tires, where it is easy to transfer the technology of the technique used. For the construction of the state of the art and the state of the art, a review of the rubber literature for end-of-life tires and a search on Google Patents and Espacenet using the Methodi Ordinatio was carried out. For the experimental work, samples were made using concentrations of 20%, 40% and 60% of tire rubber particles at the end of life, with the addition of thermofixed polymeric matrix of isophthalic polyester resin, catalyst, dyes and decorative material. The results of the tests indicate that the composition with 60% of usable penus rubber particles showed better results in the interpretations of the mechanical tests, than the samples containing 20% and 40%. The tests carried out in this work are those of Resistance to Deflection, Resistance to Hardness Shore D, Impact Resistance to Izod, Density by immersion, Resistance to compression, Determination of Vicat softening temperature, Scanning electron microscopy (SEM) and determination of resistance a Thermal deflection (HDT). Tests also show that waste tire particles at the end of their life promote chemical adsorption (interaction) with the thermoset polymer matrix, favoring mechanical properties. The final results of this research are: the literature review and the search for granted patents showed that this study is original; the experimental work suggests that practical applications are possible, generating a product, with a proportion of 60% particles of waste rubber tires, as indicated by the tests, with a smooth surface that does not require polishing and presents control of the generated surfaces. With this research, it is possible to verify the possibility of having a technology transfer with companies, governments and through academic means. The technology transfer was carried out with the publication of articles and the presence of this thesis. Thus, this research is characterized as innovative and also with sustainable characteristics and technology transfer presented in this thesis.

Keywords: End-of-Life Tires; Rubber particles; Tire rubber; Tire recycling; Sustainable materials.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Percentuais de pneus em fim de vida gerados no ano de 2015 em alguns países....	16
Figura 2 - Estrutura química de formação do poliéster	24
Figura 3 - Estrutura química da resina de poliéster isoftálico	26
Figura 4 - Estrutura química dos pneus de borracha natural (NR).....	29
Figura 5 - Estrutura básica do pneu	30
Figura 6 - Fases da metodologia <i>Methodi Ordinatio</i>	68
Figura 7 - Relação entre os termos chaves da pesquisa bibliográfica	73
Figura 8 - Procedimentos aplicados na busca das patentes	74
Figura 9 - Equipamento para peneiramento Vibrotec CT 25 (UTFPR-PG).....	78
Figura 10 - Moldes para confecção de corpos de provas para realização do ensaio de resistência a flexão (A); e molde de vidro de 200 mm x 200 mm para confecção do protótipo (B).	79
Figura 11 - Equipamento para o ensaio de resistência à flexão em material polimérico	81
Figura 12 - Equipamento para realização do ensaio de resistência à deflexão térmica.....	83
Figura 13 - MEV: Amostras com 60% de Pneus em fim de vida	93
Figura 14 - Abertura da reticulação de enxofre e a ação do oxigênio do meio ambiente	96
Figura 15 - Reação do radical livre de SBR com PMEK e resina poliéster isoftálica	97
Figura 16 - Placas de 200 mm x 200 mm, com 60% de pneus em fim de vida, superfície lisa e com brilho: A) Placa na cor preto com partículas de arames de pneu, B) placa na cor cinza.....	98
Figura 17 - Placas de 200 mm x 200 mm de resíduos de pneus em fim de vida. A) Superfície diferenciada e controlada. B) Superfície lisa com brilho na cor dourada	99
Figura 18 - Placa com 60% de Pneus em fim de vida, na medida de 100 mm x 150 mm	99
Figura 19 - Protótipo similar a superfície de pedra de pia.....	100
Figura 20 - Protótipo com 60% de Pneus em fim de vida e superfície fosca.....	101
Figura 21 - Protótipo com 60% de Pneus em fim de vida, e superfície ondulada.....	102
Figura 22 - Protótipo com estampa gravada por processo de serigrafia.....	102
Figura 23 - Protótipo com 60% de Pneus em fim de vida, com papel de parede comum.....	103
Figura 24 - Protótipo similar a estrutura de rodapé, confeccionado com 60% de Pneus em fim de vida.....	103
Figura 25 - Placa com 60% de Pneus em fim de vida, similar a lajota com brilho. A) sem adição de corantes. B) com adição de pigmento branco.....	104

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Publicação de patentes por ano, com foco em reciclagem de pneus.....	75
Gráfico 2 - Resultado das médias do ensaio de Resistência ao Impacto (J/m)	85
Gráfico 3 - Médias das Durezas Shore D	86
Gráfico 4 - Médias da Densidade por Imersão (g/cm ³)	88
Gráfico 5 - Médias da Resistência a Flexão (MPa).....	89
Gráfico 6 - Médias do resultado do ensaio de temperatura de amolecimento Vicat	92
Gráfico 7 - Médias dos resultados do ensaio HDT (°C)	95

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Sistema de gerenciamento de pneus em fim de vida.....	37
Quadro 2 - Patentes sobre método de reciclagem de pneus via criogenia.....	47
Quadro 3 - Patente sobre método de reciclagem de pneus via pirólise	50
Quadro 4 - Patente sobre método de reciclagem de pneus via microondas	56
Quadro 5 - Patentes sobre método de reciclagem de pneus via microbiológico ou biológico .	62
Quadro 6 - Patentes sobre método de reciclagem de pneus utilizando processos misto	65
Quadro 7 - Resultados brutos da busca sistemática.....	69
Quadro 8 - Resumo das palavras chaves e trabalhos selecionados após filtragem	72

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resultado do ensaio de resistência ao Impacto Izod, com cargas de 20%, 40% e 60% de adição de Pneus em fim de vida	84
Tabela 2 - Resultados do ensaio de dureza Shore D.....	86
Tabela 3 - Resultados da densidade por imersão.....	87
Tabela 4 - Resultado do ensaio de resistência a flexão	88
Tabela 5 - Resultados dos ensaios de resistência à compressão em amostras de Pneus em fim de vida.....	90
Tabela 6 - Resultado do ensaio de temperatura de amolecimento Vicat, com 20%, 40% e 60% de pneus em fim de vida.....	91
Tabela 7 - Resultado do ensaio HDT (°C).....	94

LISTA DE SIGLAS E ACRÔNIMOS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANIP	Associação Nacional das Indústrias de Pneumáticos
ASTM	American Society for Testing and Materials
BR	Borracha Butadieno
CITRA	Associação de Recauchutagem, Reparação e Reciclagem de Pneus da China
CTB	Ciência e Tecnologia da Borracha
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CO	Monóxido de Carbono
CO ₂	Dióxido de Carbono
E	Total de Pneus Exportados
ELT	<i>End of Life Tyres</i>
EO	Total de Pneus que Equipam os Veículos Automotores
EOL	<i>End of Life</i>
EPDM	Borracha de Etileno-Propileno-Dieno
ERP	Responsabilidade Produzida e Estendida
ETRMA	<i>European Tyre and Rubber Manufacturers Association</i>
EUA	Estados Unidos da América
GC	Cromatografia Gasosa
H ₂	Hidrogênio Molecular
HDT	<i>Hardness Thermal Deflection</i> (Resistência a Deflexão Térmica)
I	Total de Pneus Importados
INPI	Instituto Nacional de Propriedade Intelectual
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais
JATAMA	<i>Japan Automobile Tyre Manufacturers Association</i>
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura
Mm	Milímetros
MR	Mercado Repositor
NBR	Norma Brasileira
NR	Borracha Natural
OICA	<i>International Organization of Motor Vehicle Manufacturers</i>
ONU	Organização das Nações Unidas
P	Total de Pneus Produzidos
PMEK	Peróxido de Metil Etil Cetona
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
PPGEP	Programa de Pós-Graduação de Engenharia de Produção
RMA	<i>Rubber Manufacturers Association</i>
SBR	Borracha Butadieno-Estireno
SI	Sistema Internacional
SISNAMA	Sistema Nacional do Meio Ambiente
TCT	Transferência de Conhecimento e Tecnologia
TDF	<i>Tyre derived fuel</i>
TGA	<i>Thermogravimetric analysis</i>
UE	União Europeia
UFScar	Universidade Federal de São Carlos
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
WBCSD	<i>World Business Council for Sustainable Development</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	15
1.1 PROBLEMA DA PESQUISA	18
1.2 OBJETIVOS.....	19
1.2.1 Objetivo Geral	19
1.2.2 Objetivos Específicos	19
1.3 JUSTIFICATIVA	20
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO	21
2 REVISÃO DA LITERATURA.....	23
2.1 POLÍMEROS	23
2.1.1 Polímero Poliéster	23
2.1.2 Iniciador.....	24
2.1.3 Reações Químicas.....	25
2.1.4 Resina Isoftálica	26
2.2 RESÍDUOS SÓLIDOS.....	28
2.2.1 Classificação dos Resíduos Sólidos.....	28
2.3 CARACTERÍSTICAS DOS PNEUS	29
2.3.1 Composição Química e Toxicidade dos Pneus em Fim de Vida	30
2.4 LEGISLAÇÕES PARA RESÍDUOS SÓLIDOS	32
2.4.1 Legislação no Brasil	33
2.5 PRODUÇÃO E DESCARTE DE PNEUS EM FIM DE VIDA.....	34
2.5.1 Modelos de Gerenciamento de Pneus em Fim de Vida.....	37
2.5.2 Sustentabilidade e a Logística Reversa	38
2.6 RECICLAGEM DE PNEUS EM FIM DE VIDA.....	39
2.6.1 Principais Meios de Reciclagem de Pneus em Fim de Vida	40
2.7 TRANSFERÊNCIA DO CONHECIMENTO E DA TECNOLOGIA (TCT)	43
2.8 PATENTES COM PROCESSOS DE RECICLAGEM DE PNEUS	46
2.8.1 Criogenia	46
2.8.2 Pirólise.....	49
2.8.3 Microondas	55
2.8.4 Microbiológico ou Biológico.....	61
2.8.5 Processo Misto.....	64

3 MATERIAIS E MÉTODOS	66
3.1 ESTUDO TEÓRICO	66
3.1.1 Construção do Portfólio Bibliográfico	66
3.1.1.1 Busca de patentes.....	73
3.1.1.2 Busca sobre a legislação	75
3.1.2 Preparação e Composição das Amostras	76
3.1.3 Resíduos de Pneus em Fim de Vida	77
3.1.4 Resina Poliéster Isoftálica	78
3.1.5 Peneiramento dos Resíduos de Pneus em Fim de Vida.....	78
3.1.6 Moldes	79
3.2 ENSAIOS MECÂNICOS.....	79
3.2.1 Resistência ao Impacto Izod	79
3.2.2 Dureza Shore D	80
3.2.3 Determinação da Densidade dos Corpos de Testes por Imersão.....	80
3.2.4 Determinação da resistência à flexão	81
3.2.5 Ensaio de Resistência à Compressão.....	82
3.2.6 Temperatura de Amolecimento Vicat.....	82
3.2.7 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)	82
3.2.8 Ensaio de Resistência à Deflexão Térmica (HDT).....	83
4 ESTUDO EXPERIMENTAL	84
4.1.1 Resistência ao Impacto Izod	84
4.1.2 Dureza Shore D.....	85
4.1.3 Determinação da Densidade dos Corpos de Testes por Imersão	87
4.1.4 Determinação a Resistência à Flexão	88
4.1.5 Ensaio de resistência à compressão	89
4.1.6 Temperatura de Amolecimento Vicat.....	91
4.1.7 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)	92
4.1.8 Ensaio de Resistência à Deflexão Térmica (HDT).....	94
4.2 INTERAÇÃO QUÍMICA	96
4.3 ANÁLISE VISUAL	98
4.3.1 Análise Visual de Produtos Acabados.....	101
5 CONCLUSÕES.....	105
REFERÊNCIAS	107

1 INTRODUÇÃO

A cada instante é maior o volume de resíduos gerados em todo o planeta. Lagarinhos e Tenório (2013) afirmam que vem saturando os aterros sanitários a grande quantidade de resíduos que são “jogadas” diretamente no meio ambiente.

Devido à grande produção industrial, há crescente geração de resíduos poliméricos a cada ano. Os veículos automotores vem sendo uma das principais fontes de origem do descarte de pneus em fim de vida. (SIENKIEWICZ *et al.*, 2017).

O aumento da produção de veículos automotores, principal fonte de pneus em fim de vida, é resultado dos padrões de consumo nos países industrializados (OICA, 2017). Na última década, houve um incremento de 85% em quantidade de automóveis fabricados. Em 2016, foram produzidos aproximadamente 97 milhões de veículos, constituindo um aumento de 7%, em relação ao nível de 2015 (OICA, 2017). Isso representou cerca de 25,6 milhões de toneladas de Pneus em Fim de Vida (EOL), gerados apenas em 2016, de acordo com o Conselho Mundial de Negócios para o Desenvolvimento Sustentável. (WBCSD). (WBCSD, 2018).

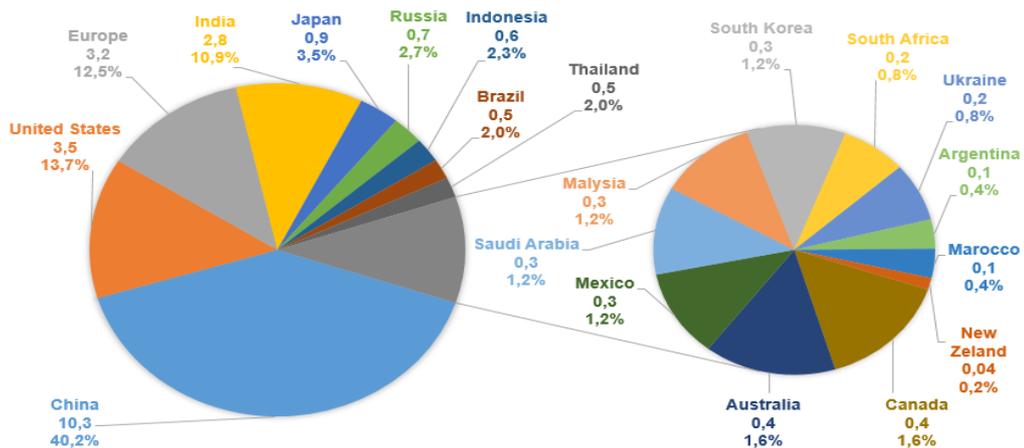
Portanto, o benefício oferecido pelos automóveis trouxe consigo impactos antropotecnológicos negativos, ao se observar pela ótica dos resíduos gerados pelas borrachas. Os pneus usados em asfalto, por exemplo, como processo de reciclagem, devido à ação das intempéries, provocam lixiviação de substâncias tóxicas, podendo atingir os lençóis freáticos e contaminar o solo em distâncias de até 20 km da margem da estrada. (SIENKIEWICZ *et al.*, 2012).

O desgaste máximo que um pneu pode atingir o define como sendo um Pneu em Fim de Vida (WBCSD, 2018), em inglês denominado *End of Life Tire* (ELT). A Associação Européia de Fabricantes de Pneus e Borracha (ETRMA, 2017) cita que "quando os pneus são removidos dos veículos, eles se tornam Pneus em fim de vida". Nesse ponto de desgaste dos pneus, não se deve mais utilizar esses pneus, por estarem fora das especificações técnicas e características recomendadas pelos fabricantes.

Em 2012, havia um milhão de Pneus em fim de vida e estima-se que, até 2030, haverá cerca de 500 milhões de descartados, provenientes de veículos automotores. Apenas uma pequena parte desse resíduo será reciclado, e milhões são destinados a aterros sanitários ou, simplesmente, enterrados, ocupando muito espaço de armazenamento (SIENKIEWICZ *et al.*, 2017). A reciclagem de resíduos de pneus é um sério problema ambiental, porque sua estrutura química é muito complexa (SIENKIEWICZ *et al.*, 2017).

Os resultados demonstrados na Figura 1 (WBCSD, 2018), referentes aos percentuais de pneus, apontaram que o principal gerador de Pneus em fim de vida era a China (10,3 milhões de toneladas, 40,2%), seguido pelos Estados Unidos da América (EUA - 3,5 milhões de toneladas, 13,7%). A Nova Zelândia foi o país menos influente na geração de Pneus em fim de vida (0,04 milhões de toneladas, 0,2%), entre o grupo de países analisados no período.

Figura 1 - Percentuais de pneus em fim de vida gerados no ano de 2015 em alguns países



Fonte: Adaptado de WBCSD (2018)

Landi *et al.* (2018) descrevem que os pneus são constituídos por substâncias tóxicas e esses elementos químicos podem contaminar a natureza, desde o ar, o solo e até mesmo as águas subterrâneas.

Para minimizar os impactos ambientais relacionados aos pneus em fim de vida, algumas práticas de recuperação de pneus são adotadas pelas empresas, como monitorar o status de reciclagem de pneus, supervisionar os processos de reciclagem e evitar descarte inadequado no meio ambiente (JATMA, 2018). No entanto, a porcentagem de média mundial de material não recuperado é de 31% (WBCSD, 2018).

Assim, o descarte final de pneus ainda é um problema mundial e sua queima é um risco para o meio ambiente e a saúde humana. A disposição em aterros sanitários é considerada inadequada, por não serem locais adequados, permitindo a proliferação de insetos e roedores (SIENKIEWICZ *et al.*, 2017; BLESSEN; GUPTA; PANICKER, 2016).

A Figura 1 aponta a necessidade urgente de um caminho que viabilize a reciclagem de Pneus em fim de vida, para reduzir os danos ambientais. Contudo, para isso, faz-se necessário um amplo conhecimento sobre os seus fatores antropotecnológicos, que se pode interpretar como sendo as características sociais e culturais de cada povo, região ou país. (WISNER, 1992).

A literatura existente neste campo possui estudos que visam minimizar os impactos negativos causados por substâncias tóxicas dos resíduos de borracha de pneus em fim de vida, indicando contribuições para um redirecionamento e uso desses pneus. Por exemplo, o estudo de Saleh (2011) destaca o papel relevante do controle da reatividade química de superfície, a fim de melhorar as possibilidades de reações químicas por contato ou processo de adsorção química. Em Saleh (2015), nanocompósitos de sílica incorporados com carbono e nanotubos de carvão ativado foram sintetizados e caracterizados; o objetivo era investigar a remoção eficiente de íons de mercúrio em soluções aquosas.

Existem estudos usando carvão ativado preparado a partir de Pneus em fim de vida, sendo seus grupos funcionais de superfície aprimorados pela oxidação química com ácido nítrico, indicados para uma melhor investigação em uso industrial (DANMALIKI; SALAH; SHAMSUDEEN, 2017). Danmaliki, Salah e Shamsuddeen (2017) relatam que o uso de carvão ativado com a presença de nanopartículas de níquel resolve os problemas de gerenciamento e dessulfurização de resíduos, simultaneamente, atuando como um promotor de adsorção química. Saleh *et al.* (2017) estudaram o carvão ativado tratado com óxido de manganês, como o objetivo de melhorar ainda mais suas propriedades de superfície para dessulfurização por adsorção. Nessa mesma pesquisa, esses pesquisadores trataram da adsorção facilitada pela ação do carvão ativado, com óxido de tungstênio e ferro, que é aplicado na limpeza e descontaminação da água. Saleh *et al.* (2018) utilizaram carvão ativado derivado de resíduos de pneus dietilenotriamina para aumentar a eficiência de adsorção. Especificamente, nesse estudo, o objetivo do experimento era remover o fenol da água. Em Saleh (2015), o autor comenta que “a remoção de enxofre dos produtos petrolíferos é um passo importante no processo de refino”.

Várias técnicas foram desenvolvidas para abordar as limitações da hidrodessulfurização, incluindo dessulfurização por adsorção. Um dos requisitos desse processo é o uso de materiais eficientes e econômicos e a busca de um processo simples. O estudo de Adio *et al.* (2018) discute:

O uso do carvão ativado magnético modificado com poli (amidoxima) como uma abordagem eficiente para a adsorção de cromo e tálio. O carvão ativado foi sintetizado a partir de resíduos de pneus de borracha, aprimorado ainda mais com propriedades magnéticas e modificado por poli (amidoxima), fornecendo grupos mais funcionais e, assim, melhorando a eficiência de adsorção.

Há a necessidade de se pensar não apenas a pesquisa de forma pura, mas também nos seus meios que farão este conhecimento chegar à sociedade, para que a comunidade observe o desenvolvimento tecnológico na sua comunidade. Toda invenção e desenvolvimento representa uma inovação tecnológica significativa, sendo um avanço para a humanidade; contudo, todo conhecimento só é de valor agregado por si próprio quando este tem valor ao consumidor e a sociedade.

Toda ciência e pesquisa são relevantes a diferentes níveis de sociedade, quando há transferência do conhecimento e da tecnologia (TCT) envolvidos neste estudo (MUGERAUER, 2016). Sabe-se que a TCT ocorre em etapas, como o meio comercial, onde se estabelecem contatos mais rápidos, e tem-se os meios considerados informais como seminários, palestras, reuniões e os intercâmbios. Também há as consultorias técnicas, a comercialização de patentes, e a realização de pesquisas, conforme desejos e necessidades organizacionais ou institucionais. A outra maneira de se ter a TCT, é por meio de publicações, seja para descrever um processo ou registrar a técnica via seu patenteamento (LUZ; KOVALESKI; ANDRADE, 2016).

1.1 PROBLEMA DA PESQUISA

A cada dia o mundo vem enfrentando maiores dificuldades em relação ao lixo e resíduos gerados pela demanda humana. As novas tecnologias surgem e o que é atual passa a ser usado e descartado, ocorrendo, particularmente, com os pneus dos veículos automotores.

A estrutura química dos pneus é complexa e contém ligações cruzadas após seu processo de vulcanização; portanto, reciclar pneus pode representar quebrar essas cadeias químicas ou em dar um novo destino aos Pneus em fim de vida. Além disso, pneus deixados em ambientes abertos e em exposição ao sol geram toxidades, da mesma forma quando são colocados em aterros, pois lixiviam substâncias químicas no solo, contaminando o meio ambiente. Quando queimados, os pneus produzem gases que são tóxicos e nocivos ao homem e a natureza que o cerca (SIENKIEWICZ *et al.*, 2012).

Os pneus residuais são agora considerados uma fonte de materiais e estruturas valiosos, que podem ser usados para produzir novos bens e produtos. Tecnologias e inovações para a recuperação de Pneus em fim de vida estão sendo melhor estabelecidas a cada momento, tendo em vista a grande necessidade de se dar uma destinação ambientalmente correta aos rejeitos de borrachas dos pneus (SEBOLA; MATIVENGA; PRETORIUS, 2018). Embora existam em vários países legislações pertinentes ao tratamento e destinação dos Pneus em fim de vida, sabe-se que ainda falta muito a ser feito, já que aproximadamente 30% dos pneus

usados não possuem um processo ou encaminhamento correto e adequado que venha a evitar danos ambientais (WBCSD, 2018).

Efeitos antropotecnológicos atingem a sociedade moderna por causa do volume dos rejeitos da industrialização, e toda tecnologia inovadora deve respeitar a cultura da sociedade a qual será introduzida (WISNER, 1992). Portanto, deve-se pensar como gerar riquezas não apenas econômicas, mas de bem-estar à sociedade, dando destinação correta aos Pneus em fim de vida.

Portanto, no contexto atual, é importante refletir sobre a seguinte pergunta problema: O que poderá ser desenvolvido com Pneus em fim de vida, que seja de uso prático para sociedade e que proporcione a transferência de tecnologia?

Partindo-se da pergunta problema, podem-se formular o objetivo geral e os específicos deste trabalho, os quais serão expostos a seguir:

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Propor um processo de reciclagem para os resíduos de Pneus em fim de vida, que resulte na confecção de peças visando aplicações práticas, em que se tenha a transferência de tecnologia.

1.2.2 Objetivos Específicos

- OE1. Propor um processo para reciclar resíduos de Pneus em fim de vida;
- OE2. Determinar as propriedades mecânicas do material desenvolvido por meio da realização de ensaios mecânicos, e que utiliza resíduos de borrachas de pneus na sua composição;
- OE3. Indicar possíveis aplicabilidades,
- OE4. Descrever como essa tecnologia poderá ter transferência da sua tecnologia.

1.3 JUSTIFICATIVA

Os resíduos da sociedade geram um problema ambiental, principalmente quando não se tem um processo de reciclagem adequado ambientalmente. Os pneus, quando chegam ao seu término de uso, são destinados a meios que buscam uma solução definitiva para sua reciclagem (BERTOLLO; FERNANDES; SCHALCH, 2002). Um dos meios de descarte mais comum são os lixões, mas esses são considerados uma ameaça, tanto para a saúde pública, como para o meio ambiente (LI *et al.*, 2006).

A eliminação dos Pneus em fim de vida tem alto custo, sendo mensurado pela União Europeia (UE) em torno de 600 milhões de euros no ano de 2010 (ETRMA, 2017). Além do fator econômico, os resíduos de pneus são bem conhecidos por gerarem problemas relevantes de descarte ou reprocessamento sob condições ambientais e econômicas sustentáveis. Esses processos podem ser um desafio para a pesquisa industrial e acadêmica (UNDRI *et al.*, 2013).

A tecnologia vem se desenvolvendo rapidamente, havendo um ciclo de vida dos produtos mais curto e, conseqüentemente, há maior produção de descartáveis e de resíduos. Isso gera sérios problemas ao meio ambiente, havendo esgotamento dos recursos naturais e, por outro aspecto, encontram-se maior volume de resíduos considerados tóxicos que poluem a água, o ar e o próprio solo, auxiliando na promoção do aquecimento global (PEDRAM *et al.*, 2017).

O Conselho Empresarial Mundial para o Desenvolvimento Sustentável - *World Business Council for Sustainable Development* (WBCSD) - alerta que o descarte de Pneus em fim de vida vem ocorrendo sem um controle efetivo, causando danos ambientais, pois, apesar de os meios de recuperação existentes, é alta a porcentagem mundial de material não recuperado, o qual é encontrado em aterros ou com destinação final desconhecida. Atualmente, existem depósitos de pneus considerados perigosos, devido à grande quantidade de pneus armazenados, podendo proliferar doenças ou provocar imensos incêndios (WBCSD, 2018).

Atualmente há diversos meios de reutilização de pneus, como a recapagem e a recauchutagem. Contudo, visualiza-se um cenário no qual há possibilidade de absorção de novos meios ou métodos de reciclagem para auxiliar na diminuição da taxa mundial de material não reciclado e, conseqüentemente, reduzir os problemas ambientais e de saúde pública.

O presente trabalho traz uma alternativa de reciclagem para os Pneus em fim de vida, ao propor através da pesquisa uma utilização dos resíduos de pneus principalmente as raspas de suas borrachas, e com isso gerar produtos que seja de fácil aplicabilidade. A pesquisa relatada nesse trabalho não apenas indica um caminho para reciclagem, mas evita a poluição gerada por esses resíduos e um passivo ambiental que traz grandes impactos ambiental negativos.

A metodologia utilizada nesse trabalho para a pesquisa científica, se faz com a geração de amostras com concentrações de 20%, 40% e 60% de resíduos de Pneus em fim de vida e ensaios mecânicos, para analisar possíveis aplicabilidades.

A pesquisa descrita neste trabalho mostra-se inovadora, já que, conforme palavras chaves pesquisadas (*Tire recycling, Tyre recycling, Rubber waste, Anthropotecnology, Transfer of Knowledge and Technology*), em bancos de dados como a *Scopus, ScienceDirect e Web of Science*, bem como nos bancos de dados de patentes, mais utilizadas e atuais do mundo, como o *Google Patents, Espacenet e Lens*, nos processos mais usados para se reciclar pneus como (*cryogenic, pyrolysis, microbiological e microwave*), não se encontrou nada similar a este processo pesquisado.

Pode-se considerar que este trabalho se justifica ao levar benefícios ao meio ambiente, ao apresentar um estudo que busca consumir Pneus em fim de vida, evitando contaminação do solo, da água e do ar. Esta contribuição também é relevante por evitar a promoção de doenças, por insetos contidos junto a pneus descartados, atingindo toda a sociedade, e aumentando os gastos dos governos com saúde pública.

Este estudo é favorável a nível governamental, pois indica não apenas um meio de difundir a reciclagem de pneus, mas ao impactar na saúde pública, gerando qualidade de vida, empregos e impostos ao se obter empresas que utilizem a técnica apresentada neste estudo.

Observando, sob outra ótica, nota-se que há contribuição de impacto positivo para o universo acadêmico, por haver a pesquisa e difusão do conhecimento, promovendo a transferência da tecnologia de forma fácil e simples ao poder produzir produtos sustentáveis, além de ser promotor da ciência a nível global, por exemplo, por meio de publicações de artigos relevantes ao meio científico, como também a geração de patente e seus benefícios de negócios.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho é composto por quatro capítulos, iniciando com a “Introdução”, que traz o problema da pesquisa, os objetivos do trabalho, tanto o geral como os específicos e a justificativa do porquê este trabalho é relevante.

No Capítulo 2 relata a “Revisão da literatura” que fundamenta todo trabalho e a pesquisa. Apresenta-se, nesse capítulo, uma explanação sobre os “Polímeros”, ressaltando-se o polímero poliéster, os iniciadores e a resina isoftálica. Em seguida, há uma fundamentação sobre os resíduos e sua classificação e a apresentação das características dos pneus, comentando-

se sobre a sua composição e toxidades. A tese discorre, em seguida, a respeito da legislação vigente sobre os pneus. Posteriormente, narra-se sobre a “Produção e descarte dos Pneus em fim de vida”; vindo em sequência a fundamentação sobre a “Reciclagem de Pneus em fim de vida”, sem deixar de trazer à tona o assunto da “Transferência do conhecimento e da tecnologia”, para deixar clara a relevância de toda pesquisa ser transferida e haver aplicação prática. Patentes com processo de reciclagem de Pneus em fim de vida é um outro tema abordado no capítulo 2. Isso para mostrar que a pesquisa traz inovação e se mostra inédita, tanto a nível bibliográfico como em patentes publicadas.

O Capítulo 3 mostra os “Materiais e métodos”, o qual se divide em subcapítulos, sendo o “Estudo teórico” composto da construção do portfólio bibliográfico, da busca de patentes, da pesquisa sobre a legislação e da preparação e composição das amostras e dos resíduos de Pneus em fim de vida, comenta sobre a resina poliéster, o processo de peneiramento e moldes. Há o descritivo dos diversos “Ensaio mecânicos” testados em amostras para levantamento das propriedades mecânicas e indicação de possíveis aplicabilidades. Já o “Estudo experimental” detalha os resultados dos ensaios mecânicos realizados, comprovando a “Interação química” entre as partículas de resíduos de borrachas de pneus e a resina poliéster isoftálica. O trabalho, em seguida, apresenta os protótipos que comprovam possíveis aplicabilidades.

No Capítulo 4, ou seja, nas considerações finais, visualizam-se as respostas levantadas pelo objetivo geral e pelos específicos, reforçando que a transferência do conhecimento e da tecnologia foram alcançadas.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 POLÍMEROS

Os polímeros tiveram seu uso com maior intensidade após as guerras mundiais, no período do século XX. Suas aplicações são múltiplas, com utilizações desde o segmento da área militar até como utensílios domésticos. Cada polímero apresenta suas propriedades mecânicas, conforme sua formação e estrutura química. Chatfield (1962) foi um dos primeiros autores a apresentar uma definição para as características poliméricas, dizendo que suas propriedades são resultantes das forças de suas ligações químicas, e estas dependem das moléculas que constituem o polímero.

Os polímeros são constituídos por cadeias carbônicas heterogênicas, as quais são conhecidas como monômeros. Quando esses monômeros são ligados quimicamente a outros monômeros, por onde vai se estendendo a cadeia polimérica, aumenta-se o seu peso molecular, podendo ou não ocorrerem ramificações, sendo obtido, a partir daí uma macromolécula polimérica.

Os polímeros podem surgir por reações químicas de adição ou condensação. Os de condensação surgem de monômeros polifuncionais, havendo em seu processo pequenas eliminações de moléculas, como as da água, por exemplo.

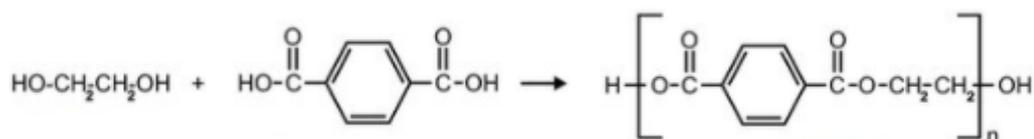
A polimerização por adição tem a soma do seu monômero “n” vezes em sua cadeia carbônica. Os polímeros formados pelo processo de adição são conhecidos como termoplásticos, possuindo, como característica principal, o fato de poderem ser reciclados facilmente. (RECHHOLD, 2018).

2.1.1 Polímero Poliéster

Os polímeros ésteres são formados quando há, na reação principal do ácido carboxílico (-COOH), agindo com álcoois (-OH), formando os ésteres. Quando ocorre a formação de vários grupos carboxílicos, bem como álcoois, teremos a formação de poliésteres, como visto na Figura 2.

Os poliésteres são chamados de polímeros poliésteres termoplásticos, caracterizando-se por cadeias lineares com baixo ponto de fusão, sendo solúveis em solventes orgânicos, e podem sofrer o processo de termofusão, incluindo serem reciclados.

Figura 2 - Estrutura química de formação do poliéster



Fonte: Autoria própria

A Rechhold (2020) informa que outra classificação dos polímeros poliésteres são os termofixos, que possuem baixa solubilidade e fragilidade, devido ao endurecimento, ou também, conhecido como processo de “cura” ou processo de “catalisação da resina”. Esse processo irá promover a polimerização, formando uma estrutura tridimensional. Esses poliésteres são popularmente chamados de resinas. Essas resinas não se fundem ou há despolimerização quando expostas à ação de fontes de calor.

Alguns fatores podem afetar as resinas catalisadas ao longo do tempo. A alta exposição da resina poliéster catalisada à umidade promove a ação de fissuras e, com isso, há a penetração da água que, quando exposta a cargas elevadas, provoca o rompimento do material polimérico. Na degradação por estresses, a altas temperaturas vão reduzir o tempo de manuseio da resina, pois há aceleração da reação química de polimerização com a mistura do catalisador. Ação de raios solares por tempo elevado, promove fissuras por possíveis quebras das cadeias químicas da estrutura. (RECHHOLD, 2020).

2.1.2 Iniciador

Os iniciadores, também chamados popularmente de catalisadores, possuem a função de promover uma iniciação da reação química, de maneira a acelerar essa reação entre os compostos químicos, por meio da promoção de radicais livres na estrutura. Estes iniciadores reagem com os monômeros, vindo a aumentar a cadeia. Uma importante informação é saber que a temperatura promovida pelo iniciador e sua concentração determinarão a velocidade da polimerização. Um dos iniciadores mais comuns e utilizados é o Peróxido de Metil Etil Cetona (PMEK).

Esse iniciador (PMEK) é oxidante e chega a irritar olhos e pele se mal manuseado. Seu tempo de vida é considerado médio, pois possui uma determinada estabilidade, se conservado em locais secos e livre da luz. A concentração do PMEK para uma boa reação é de cerca de até 3%, conforme procedimentos tradicionais. (REICHHOLD, 2020).

2.1.3 Reações Químicas

Os diferentes estudos de Saleh (SALEH *et al.*, 2017; SALEH, 2011; SALEH *et al.*, 2018; SALEH, 2018) e Danmiliki e Saleh (2017), mostram que a adsorção entre partículas Pneus em fim de vida e compostos poliméricos é possível. O foco está na remoção de metais do ambiente, como o trabalho de remover metais da água, por exemplo. A seguir, é apresentada uma breve narrativa desses trabalhos de Saleh, que ajudam a fundamentar e compreender a pesquisa desta tese com Pneus em fim de vida e resina de poliéster isoftálica.

Nanotubos de carbono com paredes múltiplas (MWCNTS) foram estudados para aplicações muito exigentes. Esses MWCNTS são ativados por processo oxidativo com o objetivo de inserir grupos funcionais para satisfazer necessidades especiais (SALEH, 2011). Grupos carboxílicos (-COOH) são formados na superfície e esses grupos funcionais promovem a reatividade química do MWCNTS. Esses grupos carboxílicos aumentam regularmente com a elevação da concentração existente no seu meio. (SALEH, 2011).

A interação química é relevante para promover a adsorção e remoção de metais pesados. O estudo de Saleh *et al.* (2017) mostra que existem métodos de troca iônica para biossorção, técnicas de membrana, precipitação, entre outros, que apresentam baixo desempenho de adsorção para remover o alumínio. A pesquisa de Saleh *et al.* (2017) indica melhores resultados com nanocompósitos de carvão ativado / tungstênio e magnético. Observa-se que estes componentes metálicos também fazem parte da estrutura química das borrachas de pneus inservíveis.

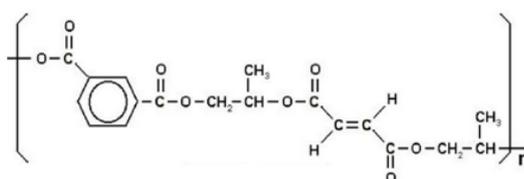
Saleh (2018) e Saleh *et al.* (2018) mencionam que as concentrações de enxofre, importante elemento químico que está presente nos Pneus em fim de vida, promovem contaminação em catalisadores industriais e em óleos, reduzindo drasticamente a vida útil. Além disso, os compostos orgânicos de enxofre são convertidos em óxidos de enxofre, afetando negativamente a natureza.

Sienkiewicz (2017) afirma que os pneus em fim de vida podem ser usados junto com matrizes poliméricas como termoplásticos para formar novos compósitos de borracha-polímero.

O processo de interação química que ocorre entre a matriz de resina poliéster isoftálica, e a partícula de borracha de Pneus em fim de vida, cuja base é estireno butadieno (SBR), pode ser analisado abaixo. Na Figura 3 é possível observar que a estrutura química do SBR possui apenas uma ligação dupla ocorrendo entre os carbonos. Além disso revela que a estrutura

química da resina isoftálica de poliéster insaturado, possui quatro ligações duplas carbono-oxigênio (C = O) e uma ligação dupla carbono-carbono (C = C).

Figura 3 - Estrutura química da resina de poliéster isoftálico



Fonte: Autoria própria

Uma das características que também origina o nome da resina como Isoftálica, é que a estrutura radicalar tem origem no radical “iso” na estrutura do anel benzênico.

2.1.4 Resina Isoftálica

Segue algumas características da resina isoftálica conforme estudos de diferentes autores. A presença de resina isoftálica com fibras poliméricas na concentração entre 40 e 50% em peso. Pode-se observar que a resistência a tração aumentou em 41,54% e a absorção de energia ao impacto foi de 75%, enquanto que a resistência a flexão apresentou redução de 25%, isso quando se aplicou PMEK a 2% (SURESH; NAYAKA; MANIVANNAN, 2020). Enquanto isso Ambika *et al.* (2017) relata que os compostos isoftálico são estáveis quimicamente até 200°C.

Os compósitos com resina isoftálicas nos proporcionam as vantagens combinadas de resistência e leveza, aliadas à capacidade de resistir à corrosão, tornando-o a escolha perfeita para várias estruturas resistentes a impactos, com particular consideração pelas estruturas marinhas. (ELANCHEZHIAN *et al.*, 2018).

Estudos que envolvem a resina Isoftálica, com a presença de fibras nos trazem informações relevantes, como que a temperatura de “Gel”, conhecido como “TGel”, tem seu processo classificado como exotérmico, que é um dos fatores que afeta o processo de “Cura” (tempo de reação do iniciador que promove o endurecimento da resina). Os resultados desses estudos demonstram que há forte integração entre as variáveis contidas no processo de cura da resina isoftálica com a presença de fibras. (RAVI; PRAKASH, 2018).

Fazendo uma comparação entre as resinas isoftálica e ortoftálica (tem a estrutura radicalar com início no radical “orto” no anel benzênico), pode-se afirmar que há melhores propriedades mecânicas, e tem-se o teor de estireno e a viscosidade maiores do que as propriedades mecânicas e de viscosidade verificadas na resina ortoftálica. Estudos também revelam que a quantidade do iniciador PMEK e a qualidade da resina (os compostos devem ser novos) influenciam diretamente na propriedade final. (EREN *et al.*, 2018).

Em estudo realizado por Croccolo *et al.* (2015) verifica-se que há interação química entre a resina isoftálica com seu reforço, havendo geralmente pequenas inclusões de ar, devido às reações exotérmicas e às ligações químicas envolvidas.

Segundo Buligon *et al.* (2015), a resina isoftálica não apresenta boa interfase com a madeira. Isso se deve à baixa rugosidade da madeira. A adesão entre as partes pode ser melhorada ao se utilizar de uma camada de materiais fenólicos, a qual promove a possibilidade não apenas de grau de rugosidade, mas, sobretudo, de reações químicas que favoreçam a interface.

Contudo, ao se fazer um estudo com a resina isoftálica (SCHMIDT; D’ALMEIDA; 2018), encontrou-se uma redução das propriedades mecânicas pelo tempo de exposição na presença da temperatura, havendo maior estresse a sua resistência à flexão, levando a uma redução de cerca de 50%.

Outro estudo que se destaca é o de Lee, Rockett e Hoffman (1992), que relata sobre a influência da água na formação de trincas em polímeros termofixos, destacando como resultado que a resina ortoftálica tem maior propensão e formação de trincas pelo processo da hidrólise. A água salina ou quanto maior a sua temperatura, há favorecimento mais intenso na geração de fissuras, que podem se propagar até o rompimento da amostra. Enquanto isso, nas amostras confeccionadas em resina isoftálica não se apresenta a propagação de fissuras. Isso só pode ocorrer quando há esforço mecânico em amostras que possuem elevada presença de água interna.

Portanto, o resultado é que a resina poliéster isoftálica possui elevada resistência à formação deste tipo de fissura, ao se comparar com outras resinas termofixas. (LEE; ROCKETT; HOFFMAN, 1992). Existe um vazio entre as ligações da resina poliéster isoftálica e, sua carga (composto de reforço adicional conhecido e adicionado propositalmente ao processo). Isso se deve à reação química entre matriz e a carga adicionada à mistura e à saída de água durante a cura do composto. (LEE; ROCKETT; HOFFMAN, 1992).

2.2 RESÍDUOS SÓLIDOS

O termo “resíduo” tem origem no latim *residu*, significando todo material que é descartado de qualquer processo, sendo a sobra de substâncias ou decomposição, rejeitos da atividade humana. A palavra “Sólido” é usada simplesmente para diferenciar dos resíduos que são gasosos e/ou líquidos. Este conceito está estabelecido na NBR 10.004 da ABNT 1997, sobre resíduos sólidos.

2.2.1 Classificação dos Resíduos Sólidos

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) considera como resíduo sólido todo material de origem hospitalar, agrícola, industrial, comercial, doméstica e resíduos de todo tipo de prestação de serviços. A ação do homem é promotora da formação de muitos resíduos sólidos e esses são danosos e prejudiciais ao meio ambiente. Alguns resíduos sólidos são recicláveis, no entanto há resíduos que levam séculos para se decompor na natureza, podendo ser considerados, praticamente, como não recicláveis, como, por exemplo, as borrachas e o vidro. (ABNT, 1987).

Muitos produtos se tornam resíduos quando chegam ao seu fim de vida ou quando suas funções deixam de ser relevantes ou prioritárias. Esses produtos são descartados por não atenderem aos itens de segurança, como é o caso daqueles que, após o fim de sua vida útil, são descartados por não estarem em conformidade com os critérios de segurança ao usuário.

Os resíduos podem ter muitas origens, mas tudo culmina para uma classificação única, sendo que cada país tem sua particularidade, conforme legislações próprias. Segue relação das classes dos resíduos sólidos e também dos semissólidos. A norma ABNT NBR 10.004 destaca a classificação citada abaixo:

- a) Resíduos de Classe I - Aqui são expostos os resíduos que trazem risco eminente para a saúde humana e danos ao meio ambiente. São considerados os resíduos que possuem alta toxicidade, com características como: elevada inflamabilidade, fatores patogênicos, ou possuem algum elemento radioativo. Esses resíduos sólidos são nocivos quando manuseados, dispostos de forma inadequada ou descartados sem os devidos cuidados, recebendo, assim, a classificação de “Resíduos Perigosos”;
- b) Resíduos de Classe II - São os resíduos classificados como “Não Inertes”, pois apresentam baixa toxicidade e baixos impactos ambientais. São produtos de índice baixo de combustão, podendo ser biodegradáveis como alguns polímeros;

- c) Resíduos de Classe III - Reconhecidos como “Inertes”, não causam agressividade à natureza. São itens que, quando colocados em ambientes e ensaios de solubilidade em água, não causam contaminação por meio de seus elementos químicos constituintes que venham a poluir a água. Portanto, a composição estrutural química desses resíduos é favorável ao meio ambiente, quer seja, inofensiva à natureza e aos seres vivos, não originando doenças ou sendo seu meio promotor.

Produtos pneumáticos possuem propriedades e características técnicas que os classificam como Resíduos de Classe I, sendo considerados produtos perigosos, havendo insalubridade, toxicidade da composição dos elementos químicos que constituem os pneus e ao seu grau de queima na presença de fogo, onde até os gases gerados dessa queima, são tóxicos.

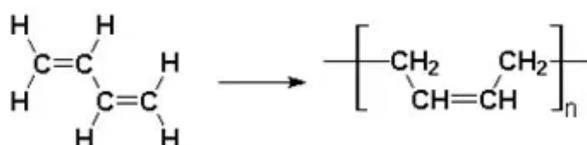
2.3 CARACTERÍSTICAS DOS PNEUS

Da produção total de borracha no Brasil, aproximadamente 69% são destinados a fabricação de pneus, devido à grande demanda da indústria automotiva; cerca de 30% são usados junto a indústria farmacêutica, setor calçadista, entre outros (LAGARINHOS, TENÓRIO, 2009; LAGARINHOS, TENÓRIO, 2013).

Resolução constituinte do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) de n. 258, de 26 de agosto de 1999 (BRASIL, 1999), considera pneus, todo material de borracha que é inflável, que tenha possível aplicação como meio de transporte.

Conforme a Associação Nacional das Indústrias de Pneumáticos (ANIP, 2019), os pneus são constituídos por várias camadas, e a borracha é a parte externa, portanto, a que chama a atenção pelo seu aspecto visual. Os pneus podem variar a quantidade e o tipo da borracha, pois pneus de automóveis de passeio que rodam em estradas pavimentadas são fabricados com borrachas sintéticas, enquanto os pneus de caminhões que tem que suportar maior esforços em diferentes tipos de estradas são fabricados com borracha natural.

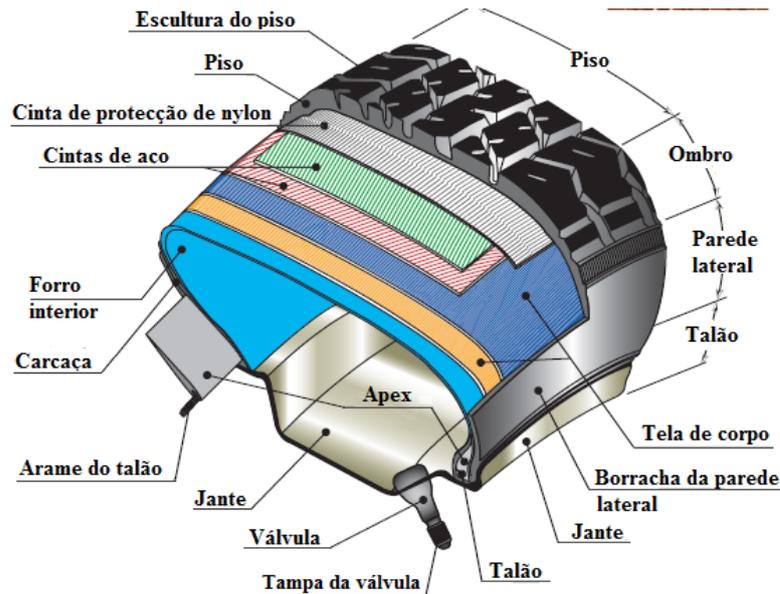
Figura 4 - Estrutura química dos pneus de borracha natural (NR)



Fonte: Próprio autor

A borracha é a maior quantidade dos componentes usados para construir um pneu. A borracha pode ser natural conhecida como NR (Figura 4), podendo ser também de butadieno-estireno (SBR), borracha de butadieno (BR) e monômero de etileno-propileno-dieno (EPDM).

Figura 5 - Estrutura básica do pneu



Fonte: CTB (2019)

O negro de fumo é essencial na composição dos pneus, pois confere maior resistência ao corte, a esfoliações e como reforço estrutural, além de enxofre que favorece drasticamente o processo de vulcanização, o que promove as ligações cruzadas na estrutura química da borracha, e o que confere as melhores propriedades mecânicas. Os pneus também possuem catalisadores, plastificantes e cargas de reforço, sendo um produto de química com ligações fortes e altamente poluente ao meio ambiente.

A estrutura dos pneus é complexa conforme mostra a Figura 5, sendo composta principalmente pelo piso que tem contato com o solo, cinta de nylon, cinta de aço, ombro, talão, arame do talão e a carcaca do pneu.

2.3.1 Composição Química e Toxicidade dos Pneus em Fim de Vida

As composições estruturais e químicas dos pneus podem variar conforme as condições de aplicabilidade, as condições de intempéries, de temperatura máxima e mínima local, a quantidade de carga que o pneu deverá suportar, tipo de solo e condições da superfície deste

solo, são fatores relevantes que interferem na escolha do melhor pneu para extrapolar estas dificuldades.

Em geral os pneus são compostos de materiais diferentes, que incluem basicamente de borracha a qual são chamadas de elastômeros com concentrações que variam de 45% a 47%; o negro de fumo (21,5 a 22%); metal ou arames que atuam como reforço estrutural (12 a 25%). Este metal representa em torno de 8 kg do peso que constitui um pneu de veículo considerado leve; o tecido têxtil chega a representar aproximadamente 11% da estrutura que compõe o pneu. Elementos químicos como o óxido de zinco (1 a 2%), enxofre (1%) e aditivos (5 a 7,5%). (SEBOLA; MATIVENGA; PRETORIUS, 2018).

Em 2006 nos EUA houve o descarte de 58 milhões de Pneus em fim de vida (cerca de 64.000 toneladas) em aterros sanitários e estudos realizados “in loco”, verificaram que houve sérios problemas ambientais, devido à densidade ser baixa e haver a lixiviação de compostos químicos considerados tóxicos, as quais são formadores da estrutura da borracha dos pneus (WEISS; CASTALDI, 2006).

Weiss e Castaldi (2006) realizaram estudos em laboratório analisando a reação de combustão e reforma dos pneus; sendo investigados por análise termogravimétrica (TGA - *Thermogravimetric analysis*) e cromatografia gasosa (GC). Experimentos sob N₂ (ambiente inerte), e ar; resultaram em parâmetros de taxa cinética que se aproximaram dos valores da literatura. Além disso, novos parâmetros de taxa foram gerados para gaseificação em atmosferas de CO₂. Os dados medidos foram combinados com valores termodinâmicos da literatura e programados simular o processo global. Os resultados mostram que 4 milhões de pneus por ano podem produzir 18 MWeq de CO e H₂ a uma taxa de retorno econômico de 19%.

Um reator de pequeno porte para simulação foi construído para visualizar e investigar os princípios do fluxo de gás. Os mercados avaliados foram os de Pneus em fim de vida entre \$ 50 e \$ 100 por tonelada, que geraram interesse em aplicações de reciclagem, como fornos de cimento, preenchimentos de asfalto e como geradores de energia. Os produtos de combustão alimentam diretamente o gaseificador, onde o calor e o CO₂ agem endotermicamente nos pneus, e a água adicionais produz CO₂ e H₂ que são os rejeitos deixados livres na natureza. (WEISS, CASTALDI, 2006).

A toxidade produzida pelos pneus em fim de vida, junto ao meio ambiente é extremamente danoso à saúde humana como a tudo que estiver ao seu redor. Se os pneus em fim de vida estiverem formando barreiras no mar ou em encostas terrestres, eles tendem a se decompor lixiviando substâncias químicas danosas aos seres vivos ou a contaminar o solo nas

encostas. Se os pneus em fim de vida ficam a céu aberto são 13 mil vezes mais multagênicos do que as melhores instalações de carvão (IBAMA, 2019).

Pesquisas constituídas em países como a Inglaterra, Alemanha, Japão e França; revelam que os pneus em fim de vida quando usados em asfalto seja na mistura com o piche ou formando uma camada sobre as pedras junto a estrutura do piso do asfalto, vem a sofrer com as variações do clima; afetam a estrutura químicos dos pneus ali depositados; havendo lixiviações que vão atingir os lenções freáticos, e contaminar o solo e plantações a beira das estradas em até 20 km, (SIENKIEWICZ, 2012)

Estas informações reforçam a necessidade de se dar um destino ambientalmente correto aos pneus em fim de vida, e de não deixar os mesmos em locais inapropriados, pois com certeza há danos a vida.

Atualmente há maiores preocupações com o meio ambiental e a sustentabilidade, onde os países vêm tendo maiores descartes dos pneus em fim de vida. Com isso surgem legislações mais fortes e coerentes para tentar aproveitar estes resíduos para promover ganhos energéticos ou promover aplicações mais nobres para a sociedade.

2.4 LEGISLAÇÕES PARA RESÍDUOS SÓLIDOS

No Brasil há uma combinação de leis e normativas que descrevem desde a produção de pneus, até o descarte final com a descrição das responsabilidades de cada autor no processo que decorre os pneus.

O ano de 1999 balizou o país ao ser criado a regulamentação de resíduos sólidos através da Política Nacional de Resíduos Sólidos - PNRS (BRASIL, 2018) o qual mudou drasticamente a postura do CONAMA, onde orienta sobre a logística reversa para baterias, pilhas, lâmpadas, pneus, resíduos hospitalares e aterros sanitários.

Em 2 de agosto de 2010, a PNRS determinou todas as responsabilidades, incluindo a sociedade, citando abertamente que todos são responsáveis pelos resíduos e pela logística reversa, pois só assim será possível o sucesso do programa de resíduos sólidos (LAGARINHOS; TENÓRIO, 2013).

2.4.1 Legislação no Brasil

O Instituto Brasileiro do Meio Ambiente (IBAMA) através da Resolução n. 416, de 30 de setembro de 2009 (BRASIL, 2009) prevê que todos os fabricantes de pneumáticos, bem como os importadores, forneçam trimestralmente relatório das suas atividades e que o IBAMA compile todas as informações num único relatório anual, destinado a sociedade e órgãos competentes da esfera superior como o Ministério do Meio Ambiente ou similar.

O IBAMA é responsável por fiscalizar a produção nacional de pneus novos que irá ser destinada ao mercado brasileiro e aos importados pneumáticos através da fórmula (1).

$$MR = ((P + I) - (E + EO)) \times 0,7 \quad (1)$$

sendo:

MR = Mercado de reposição;

P = Total de pneus produzidos;

I = Total de pneus importados;

E = Total de pneus exportados;

EO = Total de pneus que equipam veículos automotores.

O MR da fórmula, fornecerá a meta da produção de reposição de pneus novos. Considera-se que se tem ao ano 30% de desgaste dos pneus gerados. A lei determina que para cada pneu considerado ELT pode ser produzido um novo pneu, em quantidade igual em peso (IBAMA, 2019; LAGARINHOS; TENÓRIO, 2013).

Na política gerada sobre os resíduos sólidos, na lei da subseção X, que trata sobre os pneumáticos, cita que os fabricantes e importadores são responsáveis sobre o gerenciamento de todo resíduo gerado, devendo dar a destinação ambientalmente correta em consonância com o Plano de Gerenciamento de Resíduos Especiais, o qual é aprovado pelo Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA).

O PNRS também determina que os distribuidores e os comerciantes de pneus são responsáveis pela coleta e devolução dos pneus considerados usados, os quais podem ter destinação para recapagem ou recauchutagem, enquanto os pneus considerados Pneus em fim de vida devem seguir para reciclagem.

A Lei 12.305:2010, que constitui a PNRS, sobre os pneumáticos a nível nacional proíbe descarte em rios, ribeirão, no mar, nascentes de águas, bem como em terrenos, aterros

sanitários, margens de rodovias, estradas e ruas. A queima é proibida, senão para gerar energia e em ambientes em condições fiscalizadas e ambientalmente corretas, onde não haja prejuízo a saúde do homem ou ao meio ambiente. A mesma lei prevê atitudes de sustentabilidade, o qual irá contribuir para as mudanças do clima, onde se tem metas regidas voltado para a reciclagem de rejeitos. O Brasil atingiu no ano de 2005, mais de 20% dos materiais rejeitados fazendo parte da logística reversa, e sendo reciclados (ANIP, 2019).

Em 23 de dezembro de 2010 a PNRS cria comitês interministeriais de resíduos sólidos, e o comitê orientador para a logística reversa, visando regulamentar e dar norte nas ações que venham a favorecer a destinação e a reciclagem de rejeitos, incluindo os Pneus em fim de vida (LAGARINHOS; TENÓRIO, 2013).

2.5 PRODUÇÃO E DESCARTE DE PNEUS EM FIM DE VIDA

A produção de veículos automotores são os maiores destinos de pneus novos no Brasil como no mundo. Por isto, também são os maiores geradores de pneus em fim de vida, e a produção dos veículos são norteadores dos índices de pneus consumidos e tendências ao descarte.

Em 2010 o Brasil produziu 67,3 milhões de pneus novos, sendo 18,1 milhões destinados para exportação, 23,9 milhões foram importados.

Os principais canais de distribuição foram 45% para reposição e revenda no mercado nacional. Aproximadamente 30% seguiu para a indústria automotiva e 25% para exportação. Entre 2002 e 2010 foram inseridos no Brasil 493,7 milhões de pneus (OICA, 2017; BRASIL, 2018).

A OICA estima que em 2017 a indústria de veículos no Brasil obteve um crescimento de 25,20%, tendo fabricado 2.699.672 veículos. Ficando o Brasil com o sexto maior acréscimo em todo o mundo, atrás apenas de países como Finlândia com 90,83%, Ucrânia 81,27%, Países Baixos com acréscimo de 74,97%, Uzbequistão com 59,10% e Eslovênia com 42%.

De acordo com os relatórios das maiores associações de pneus e produtores de borracha, a produção anual global de pneus é de cerca de 1,4 milhões de unidades, o que corresponde a cerca de 17 milhões de toneladas de pneus usados a cada ano (JATMA, 2010; ETRMA, 2017; WBCSD, 2018).

A China junto com os países que constituem a União Europeia, mais os EUA, o Japão e a Índia produzem as maiores quantidades de resíduos de pneus, o que equivale a quase 88% do número total de pneus retirados em todo o mundo (JATMA, 2010).

Em 2017 a China produziu mais de 29 milhões de carros e veículos comerciais, mais que o dobro da produção dos EUA (OICA, 2017). Tal número justifica a primeira colocação do país entre os principais geradores de resíduos de pneus do mundo. Ainda assim, não existe no país uma legislação específica para a disposição desse tipo de material. Há apenas normativas da Associação de Recauchutagem, Reparação e Reciclagem de Pneus da China (CITRA). Por falta de mecanismos legais e incentivos governamentais, grande parte dos pneus em fim de vida não é recuperado, tendo os aterros como disposição final (WBCSD, 2018).

De acordo com a RMA (*Rubber Manufacturers Association*) (ETRMA, 2017) os EUA apresentam um mercado de Pneus em fim de vida, que absorve 81,4% dos pneus gerados no país. As principais utilizações dos pneus *End of Life* (EOL) estão nos mercados de combustível derivado de pneus (*Tyre derived fuel* - TDF) borracha moída e na engenharia civil (ETRMA, 2017).

O mercado de TDF abrange 43% do mercado de pós-consumo americano, visto que é considerada uma alternativa econômica de combustível e de produção mais limpa (P+L) quando comparado ao carvão, podendo ser utilizado em fornos de cimento, fábricas de papel e celulose e caldeiras para geração de energia (ETRMA, 2017).

Já o processo da borracha moída engloba 16% do comércio, e é caracterizado pela moagem de pneus em pedaços de diferentes tamanhos, conforme o uso pretendido. Tais fragmentos são transformados em tapetes de borracha, asfalto modificado com borracha, produtos de playground e produtos de paisagismo (ETRMA, 2017).

A terceira maior comercialização de pneus EOL nos EUA está na engenharia civil. Geralmente, fragmentos de pneus são usados como substitutos de argila e areia, na construção de estradas entre outras aplicabilidades. Também há o uso em fornos de arco elétrico, projetos de recuperação de terra (encostas evitando erosões), exportação de TDF e produtos prensados ou estampados de pneus inservíveis (ETRMA, 2017).

A Europa em 2016, apresentou uma geração de rejeitos de 3,5 milhões de toneladas. Entre os mecanismos de recuperação do resíduo de pneus mais comuns no continente Europeu estão a utilização na engenharia civil, obras públicas e aterro, a reciclagem que compreende a granulação, o uso em usinas siderúrgicas e de fundições, a decapagem de pirólise, e, por último, na fabricação de cimento (ETRMA, 2017).

A Associação Europeia dos Fabricantes de Pneus e Borrachas - *European Tyre & Rubber Manufacturers Association* (ETRMA) e a União Europeia são as precursoras de todas as normas e decisões a respeito da legislação pertinentes quanto à disposição final dos pneus em fim de vida na Europa. O Brasil também segue deliberações da ETRMA e da União Europeia, como a Allapur da França, a Ecopneus da Itália e Signus da Espanha. De acordo com as leis e normativas, os modelos de gestão de pneus em fim de vida europeu é o sistema de Responsabilidade Produzida e Estendida (ERP), o Sistema de Mercado Livre e o Sistema tributário ou fiscal (ETRMA, 2017). O número de ELT é bem exemplificativo pela UE, tendo uma tendência crescente a cada ano dos rejeitos gerados (BRAVO; BRITO, 2012).

Por último, a Índia, quarta maior geradora de Pneus em fim de vida mundial; é um país que desde 2017 adota uma política reativa na gestão dos Pneus em fim de vida. Inicialmente, o governo estabeleceu regras de gerenciamento de resíduos, viabilizando práticas de gestão dos pneus em fim de vida. A adoção de leis governamentais ocorre por considerar o resíduo de pneus como uma matéria prima de valor. Entretanto, as medidas ainda são consideradas poucas (WBCSD, 2018).

A gestão de resíduos de pneus da UE foi alimentada por diferentes legislações. O primeiro criado em 1999, que legisla sobre aterros sanitários dos Resíduos 1000/31 /CE, onde proíbe destinação de pneus inteiros em aterros a partir de julho de 2003, e em seguida dá diretriz de que os pneus não podem ser depositados na terra a partir de julho de 2006 (RAMARAD, 2015).

Segundo Sebola, Mativenga e Pretorius (2018) isto se justifica por que o pneu ocupa muito espaço nos aterros e os mesmos não se consegue compactar ou promover uma melhor distribuição nestes locais de armazenamento, havendo indisponibilidade. Para reduzir o espaço ocupado pelos resíduos de pneus nos aterros, a destruição dos resíduos de pneus antes da eliminação é uma opção, contudo, altos custos operacionais tornam pouco atraente.

Os materiais ao serem enviados para os aterros sanitários representam uma oportunidade perdida em termos de economia circular, e obter um melhor valor ou aproveitamento dos seus resíduos. A reciclagem de pneus passa a ser uma opção inteligente ao gerar um fluxo substancial de resíduos de borrachas para serem convertidos em energia ou outros produtos poliméricos. Assim sendo, as eliminações de resíduos de pneus são consideradas um problema ambiental e perda de oportunidade econômica, já que existe o alto custo para viabilizar a reciclagem (SEBOLA; MATIVENGA; PRETORIUS, 2018).

Deve-se ter novas táticas que facilitem o gerenciamento dos resíduos de borrachas de pneus. Neste contexto há três caminhos considerados interessantes como modelos de gerenciamento de pneus em fim de vida.

2.5.1 Modelos de Gerenciamento de Pneus em Fim de Vida

Diante da preocupação com o crescente número de pneus em fim de vida, os governos têm estabelecido políticas para a destinação final dos mesmos. Essas políticas estabelecem mecanismos legais visando conter o aumento do volume de pneus em fim de vida, ou dando a eles a destinação adequada, em seus respectivos países ou regiões globais. O Quadro 1 define os principais modelos de sistemas de gerenciamento.

Quadro 1 - Sistema de gerenciamento de pneus em fim de vida

Sistema	Definição	Países (exemplo)
Sistema de mercado livre	Legislador aprova os objetivos a serem cumpridos, no entanto, não há partes responsáveis diretamente projetadas. No entanto, a existência de uma associação industrial encarregada de promover a gestão responsável de ELT.	Argentina, China, Índia, Indonésia, Japão, Malásia, México, Nova Zelândia, Arábia Saudita, Tailândia e Estados Unidos
Sistema tributário	Estado é responsável pela recuperação do ELT e remunera os operadores da cadeia de recuperação. A gestão do ELT é financiada através de um imposto cobrado aos fabricantes e importadores de pneus e pago ao Estado, sendo subsequentemente repassado aos consumidores.	Peru, Colômbia.
Sistema de Responsabilidade Estendida do Produtor (EPR)	O produtor de pneus (fabricante ou importador) é responsável por lei pela organização da gestão do ELT, com volumes específicos definidos com base nas quantidades de pneus colocadas no mercado. Gestão de ELT financiada através de uma taxa ecológica sobre pneus fabricados e importados, paga pelos Produtores, geralmente repassada aos consumidores.	Países europeus usado no Brasil, África do Sul e Coreia do Sul. Mais recentemente na Rússia e Ucrânia.

Fonte: ETRMA (2017) e WBCS (2018)

O sistema de livre mercado é praticado na China, Índia e EUA, sendo aplicada uma legislação estadual ou federal que visa definir planos de ações ou obrigações. Contudo, a responsabilidade não é atribuída, e não são cobradas taxas para a reciclagem ou disposição final adequada (WBCSD, 2018).

Ressalta-se que em Taiwan há uma exceção, pois existe um sistema de reciclagem de pneus em fim de vida, conforme as diretrizes da Lei de Gestão de Resíduos de 1997. O sistema é classificado como um EPR, isto é, a disposição final dos pneus em fim de vida é de responsabilidade dos fabricantes, importadores e vendedores, que através de taxas financiam o

sistema de gerenciamento de reciclagem (SIENKIEWICZ, 2012; RAMARAD, 2015; ETRMA, 2017, WBCSD, 2018).

2.5.2 Sustentabilidade e a Logística Reversa

As cidades são como um organismo social vivo, onde ocorre transformações e adaptações a qual se expande para o caráter do homem e sua tecnologia; das compreensões dos problemas urbanos que passam pela sustentabilidade (CARVALHO, 2012).

Segundo Carvalho (2012) no ano de 1900, aproximadamente 10% da população mundial estavam em cidades, e 90% se encontravam vivendo e trabalhando na área rural, atualmente este índice é 50% nas cidades. A previsão é de haver em 2050 cerca de 75% da população mundial viver em centros urbanos como as cidades, provocando concentrações de pessoas e como consequência maiores resíduos gerados. Portanto, o problema deixou de ser municipal, estadual ou de um país e sim atinge nível global.

Uma visão de sustentabilidade é o conceito sobre o desenvolvimento sustentável que segue no documento Common Future, lançado pela Organização das Nações Unidas (ONU). Segundo o relatório, o desenvolvimento sustentável é o “tipo de desenvolvimento que é capaz de garantir as necessidades do presente sem comprometer as futuras gerações avaliando suas necessidades próprias”. Este documento mostra a necessidade de enfrentar os desafios urbanos por todos.

A China é um exemplo de crescimento populacional e, como consequência, observa-se no país os danos ambientais. A indústria chinesa é vista como “uma faca de dois gumes”, pois ora é o pilar da modernidade com as suas tecnologias; por outro lado, é responsável por 80% do consumo de energia e as emissões de CO₂ correlacionadas (DONG *et al.*, 2014).

Conforme Dong *et al.* (2014) da crise ambiental, a China abstraiu lições que são exemplos como o praticado na região de Jian, onde se busca a sustentabilidade pela logística reversa de pneus em fim de vida, gerando uma rede energética abrangente que funciona com a reciclagem de resíduos plásticos, incluindo a borracha dos pneus. Atualmente a rede energética funciona com cerca de 13 ligações simbióticas de rejeitos, são mais de dez milhões de materiais, e a redução de CO₂ é alcançada com números como de aproximadamente 4000 ton. CO₂ / ano emissão.

Enquanto no Brasil, a preocupação decorre de o governo nacional regulamentar o processo de logística reversa, pois visa uma ampla sustentabilidade; e para isto se têm exemplos dos países de primeiro mundo como a Europa e os EUA (LAGARINHOS; TENÓRIO, 2013).

O comprometimento e o discernimento sobre as visões da logística reversa no Brasil passou a ser compartilhada, pois todos são responsáveis pelo destino dos rejeitos de Pneus em fim de vida, determinada pela Resolução N° 416, que cita a gestão dos resíduos sólidos como diretriz a ser seguida. Nesta diretriz deve-se ter pelo menos um ponto de coleta de pneus inservíveis, em toda cidade com mais de 100 mil habitantes (LAGARINHOS; TENÓRIO, 2013).

Vasconcelos *et al.* (2013) argumenta que a sustentabilidade pode ser atingida em diferentes áreas, inclusive na da construção civil, pois é responsável por 50% do total de resíduos acumulados em aterros, pela produção de 30% do total de emissões de CO₂, e por 40% do consumo total de energia durante o processo construtivo dos edifícios. Os impactos ambientais resultantes da produção de resíduos e consumo de energia, resultam em esforços constantes na geração de pesquisas e desenvolvimento de produtos, junto à comunidade científica na busca de alternativas sustentáveis.

Uma construção mais sustentável pode ser alcançada principalmente a partir da redução do consumo de energia, se utilizando de meios que gerem a energia limpa e de fontes renováveis. Além disso, o uso de materiais com baixa energia incorporada é outro princípio. A utilização de peças, artefatos que possuam um novo design podem resultar em impactos menores no ciclo de vida tanto do produto como do próprio edifício como um todo. Por exemplo, esse princípio pode ser ativado ao se fazer uso de matérias-primas alternativas, como subprodutos industriais, nesse caso pode-se pensar nos pneus em fim de vida compondo elementos que venham fazer parte dos prédios (VASCONCELOS *et al.*, 2013).

2.6 RECICLAGEM DE PNEUS EM FIM DE VIDA

Em 2009, o Brasil tinha apenas 10% dos pneus em fim de vida sendo reciclados, contudo o Ministério do Meio Ambiente (BRASIL, 2009) apoiando as legislações específicas como a Lei n. 416/2009 e a Resolução n. 258/1999 do CONAMA, vieram a ver o processo de reciclagem de Pneus em fim de vida atingir 90% em reciclagem, pois passou a ser considerado passivo ambiental todo pneu inservível.

O IBAMA postula que toda empresa de pneumáticos deve ter um processo reconhecido, com licença ambiental pertinente a emissão da própria instituição; que previamente descreva seus processos de captação e destinação final ambientalmente correta (IBAMA, 2019).

O desenvolvimento de estudos sobre recuperação e reciclagem mais eficientes, e as regulamentações legais restritivas da União Europeia a gestão de pneus usados, levaram a soluções que permitem este fluxo substancial de resíduos de borracha para ser convertido em energia ou novos materiais poliméricos. O pneu inservível pode ser usado como quebra-mar, recifes artificiais, suporte de encostas de terras (aterros), em pavimento asfáltico (SIENKIEWICZ, 2012).

Conforme Sebola, Mativenga e Pretorius (2018) a reutilização, reciclagem, energia e recuperação de material de pneus em fim de vida são opções viáveis. No entanto, a reciclagem de resíduos de pneus não é globalmente bem-sucedida. Na UE é 4 vezes mais eficaz a reciclagem de pneus do que no continente africano, por exemplo.

A gestão de Pneus em fim de vida, como parte de uma política ambiental, em conformidade com os princípios da economia circular, visa prevenir riscos ambientais, reduzir o desperdício e as emissões de CO₂ e fortalecer a eficiência dos recursos. Uma diretriz geral para os estados membros da UE, visa alcançar quantidade zero de resíduos pós-consumo de resíduos em aterros antes do final do século XXI, para otimizar e expandir maneiras de como encontrar novos mecanismos que gerem um equilíbrio entre economia e meio ambiente a sua proteção (ANTONIOU, ZABANIOTOU, 2018).

2.6.1 Principais Meios de Reciclagem de Pneus em Fim de Vida

Os principais meios difundidos na sociedade para reciclar pneus são recapagem, recauchutagem, remoldagem, e os processos de pirólise, microondas, criogenia e microbiológico.

O método de recapagem é caracterizado por substituir a banda de rodagem (Figura 2) por uma nova borracha de pneu, prologando a vida útil da carcaça do pneu usado. Este processo passa pelas etapas como raspagem da banda de rodagem antiga, promovendo resíduos de borrachas em lascas, em seguida são confeccionados sulcos e adicionado a nova banda de rodagem o qual é vulcanizada entre 120°C e 180° C, para gerar “aderência”. (PEDRAM *et al.*, 2017; BANDAG, 2018)

No processo de recauchutagem tem-se a troca da banda de rodagem mais os ombros da carcaça do pneu que são cobertos por uma camada conhecida como *camelback* (PEDRAM *et al.*, 2017; BANDAG, 2018).

Na remoldagem ocorre a substituição da borracha de talão a talão (BANDAG, 2018).

Muitos Pneus em fim de vida são triturados, formando granulado de borrachas com diferentes granulometrias. Além das partículas extraídas dos pneus no seu processo de raspagem, sendo tudo considerado resíduos de Pneus em fim de vida. As principais aplicações das borrachas moídas são para tapetes de borrachas, produtos para playground, e áreas de recreação como campos de futebol, produtos de paisagismo e para asfalto modificado. Outras aplicações são junto a indústria de cimento na composição do concreto, indústria de papel e de celulose, principalmente como fonte de energia ao serem queimados nos fornos e caldeiras. Contudo, as partículas menores dos ELTs, resultado do processo de raspagem da borracha, não são indicadas para queima em fornos industriais, por que os gases dessa queima são tóxicos e nem todo o gás consegue ser filtrado adequadamente. (BRAVO; BRITO, 2012; ETRMA, 2017).

Pode-se entender que as borrachas auxiliam na absorção de impacto e a distribuição dos esforços sofridos pelo material. (SGOBBA *et al.*; 2015)

Sgobba *et al.* (2015), menciona que distintos tipos de misturas foram estudados com diferentes porcentagens de partículas de borracha usadas como um substituto parcial para agregados naturais, usando e comparando misturas com vários tipos de adição e tratamento de superfície. Três tipos de partículas de borracha (borracha de cinzas, borracha fragmentada e cavacos de pneus) têm sido empregados nas misturas de concreto com borracha substituindo parcialmente os agregados naturais. Os resultados do teste mostraram que a mistura de concreto com borracha apresentava algumas características atraentes, como baixa densidade de massa, mas por outro aspecto piora a resistência à compressão, por exemplo.

Entre as descobertas relevantes, Sgobba (*et al.*, 2015) descreve um decréscimo no desempenho mecânico, que foi observado em amostras de concreto com borracha em uma idade em torno de 60 dias do tempo de cura do concreto. Além disso, fenômenos que promovem o surgimento de trincas e de laminação superficial (descascamento superficial), ocorreram nos corpos de prova curados sob condições de umidade que nunca foram descritas na literatura até o momento. A principal inovação está na descrição desses resultados em relação à degradação dependente do tempo do concreto emborrachado, reduzindo a resistência mecânica e não sendo recomendado para aplicações de esforços mecânicos, principalmente a médio e/ou por longo período (SGOBBA *et al.*, 2015).

Outro meio de se reciclar Pneus em fim de vida, é pelo processo de pirólise, que inicia em 300°C, tendo seu ápice entre 750°C, onde se extrai dos pneus inservíveis diferentes tipos de óleos que podem ser usados como combustível, sendo uma opção mais limpa, ao se comparar com outros métodos como a extração e uso de carvão, seja vegetal como mineral. Estes óleos

são destinados em geral para uso junto a indústria química (ETRMA, 2017). O processo de pirólise é qualificado como processo de degradação térmica dos componentes orgânicos do ELT, realizadas em temperaturas que evitem a presença de oxigênio (TRONGKAEW *et al.*, 2011; MARTÍNEZ *et al.*, 2013; HOSSAIN *et al.*, 2017).

Segundo Misik e Radvanska (2008) na pirólise há barreiras para sua aplicação tanto por aspectos econômicos como técnicos. O custo de capital é alto ao ser aplicada ao seu processo, e os produtos da pirólise não têm valor agregado suficiente, que devem competir com os materiais de commodity. Tendo em vista que o resultado da pirólise está em base na extração de diferentes óleos oriundos do petróleo. Contudo, o valor do barril do petróleo no mercado internacional determina a viabilidade do processo da pirólise. No entanto, certas inovações tecnológicas devem ser feitas para essa barreira no futuro próximo poder ser rompida. Desenvolvimentos de técnicas ou processos menos dispendiosos para produtos de maior valor agregado permitiriam que a pirólise se tornasse uma alternativa lucrativa para a reciclagem de resíduos de pneus.

Para Rajan *et al.* (2006) a reciclagem por microondas é realizado devido a energia fornecida, suficiente para romper as ligações químicas em temperaturas elevadas junto a estrutura química da borracha dos pneus. A grande desvantagem no processo de microondas é o custo da energia utilizada no processo, e a existência de rejeitos como o negro de fumo; o qual é de difícil reciclagem, além do arame da estrutura dos pneus. O processo de microondas tem seus melhores resultados quando a microestrutura é promovida em partículas mais finas, levando a propriedades mecânicas mais aprimoradas. A energia de microondas é altamente versátil em sua aplicação em diversos campos, como nas reações químicas, vulcanização de borracha, secagem e processamento. As aplicações potenciais mais recentes envolvem produção de aço, reciclagem de pneus usados e como fonte alternativa para produção de energia. (AGRAWAL, 2010).

O processo por criogenia consiste em abaixar a temperatura da borracha dos pneus a uma temperatura abaixo da temperatura de transição vítrea, o que deixa as ligações químicas mais rígidas, e logo em seguida há a trituração desta borracha em moinho de impacto, fragmentando em pedaços menores e em diferentes granulometrias, os quais são separados pelo processo de peneiramento (KARGER-KOCSIS; MESZÁRIOS; BARANY, 2013).

2.7 TRANSFERÊNCIA DO CONHECIMENTO E DA TECNOLOGIA (TCT)

Faz parte do desenvolvimento do homem gerar, até mesmo por impulso, a transferência do conhecimento e da tecnologia, pois existem ameaças e oportunidades nessa condução do conhecimento. Contudo, isto é gerado pelo meio que envolve a tecnologia. Isso justifica o quanto é necessário se ter um pensamento alinhado com as mudanças e a complexidade do mundo (MUGERAUER, 2016).

Entende-se que a TCT só ocorre quando se tem vencida as particularidades entre os parceiros envolvidos, e com isto as fases são concretizadas, como o desenvolvimento do conhecimento e da tecnologia, a investigação de parceiros interessados e a comercialização, ou o repasse como troca de algo tangível ou não (KELLE, 2013).

Franco *et al.* (2014) postulam que uma visão impar se faz necessário por parte das empresas que desejarem buscar conhecimento e fazer com maior ênfase a TCT, onde se tem que entender as universidades e o meio acadêmico, e como se desenvolvem diante dos desafios do novo. Por outro aspecto as instituições de ensino devem buscar focar suas pesquisas nas necessidades do mercado, havendo uma comunhão dos interesses entre empresas e instituições de ensino.

A TCT entre as empresas não necessariamente ocorre quando há a interação pura (direta) entre elas. Pode haver disseminação do conhecimento de uma organização ao mercado e o mercado fazer chegar a uma outra empresa da mesma área ou não da geradora deste conhecimento. Fatores como os culturais, sociais a agilidade sobre a informação da força de trabalho, e as cooperações influenciam o trâmite do conhecimento (VALENCIA-VÁZQUEZ *et al.*, 2014).

A cultura das organizações e aspectos como as suas configurações geográficas chegam a causar distúrbios na TCT; isto porque a formação geográfica define os concorrentes e apoiadores diretos das organizações (KAFOUROS; WANG, 2015). Sabe-se que a TCT ocorre em etapas, onde há contatos ágeis com foco no problema e na busca abrupta por sua solução. Há também meios mais “acadêmicos” em que surgem a TCT por meios como: seminários, palestras, reuniões e os intercâmbios. No âmbito voltado ao organizacional dito de “grande porte” existem a TCT por consultorias técnicas e o surgimento e o repasse das patentes (LUZ *et al.*, 2016).

Tem-se atualmente escritórios focados em realizar a comercialização do conhecimento e de tecnologias inovadoras. Geralmente estes escritórios também geram as patentes e proteção destas tecnologias, conforme legislações locais e internacionais (BIGLIARDI *et al.*, 2015;

PEZOA-FUENTES; VIDAL-SUÑÉ, 2017). Com isto, o conhecimento e a tecnologia se transformaram em um bem importante. Estes escritórios são vistos como agentes atuantes, sendo facilitadores da difusão do conhecimento e da tecnologia (HSU *et al.*, 2015).

Portanto, a TCT as torna mais competitivas nesse cenário, sendo um imenso diferencial que dará sobrevida aos negócios e a lucratividade de médio e longo prazo (CALCAGNIN *et al.*, 2016).

Segundo Chai e Shih (2016) as corporações são dependentes da TCT, onde as parcerias se tornam fomentadores da informação relevante. O sucesso ocorre quando há controle de quem são os seus parceiros, seus níveis de qualidade e fidelidade ao compromisso de metas dos envolvidos.

A inovação torna o empreendedorismo mais do que uma vertente, mas também um caminho a ser seguido. Empreender deve ser visto não apenas em se fazer um novo negócio, mas em se fazer uma nova estratégia, uma nova conduta empresarial ou até mesmo um novo produto para a empresa crescer e/ou se fixar no mercado, que está cada dia mais competitivo, como atualmente já ocorre dentro e fora das empresas startups. As pessoas nesta visão, ocupam um lugar importante, são o cerne para este processo ocorrer. Normalmente as corporações olham apenas as parcerias externas, mas o processo se inicia com inovações abertas internas, onde deve-se ter um ambiente propício a geração de inovações, isto irá promover um ambiente seguro e eficaz. (KRATZE; MEISSNER; ROUD, 2017; TARTARI; PERKMANN; SALTER; 2014).

Já sobre a TCT entre a indústria e o meio acadêmico e vice-versa, tem-se a formação de parcerias, e isto vai além de instigar publicações, o que ocorre na primeira fase. Contudo, o processo acadêmico oferece sua experiência para divulgar projetos orientados para a solução de problemas práticos da organização colaboradora, uma espécie de consultoria técnica (PERKMANN *et al.*, 2013).

A interação entre indústria e as instituições de ensino superior são bem-sucedidas, quando há um canal aberto e bidirecionado, e o serviço é apresentado de forma tradicional. As motivações dos pesquisadores são fundamentais para se desenvolver canais que facilitem a TCT (LEISCHNIG; GEIGENMUELLER; LOHMANN, 2014).

Conforme Gomes e Pereira (2015) a inovação é fonte primordial para que haja a TCT, e pode-se resumir que os centros de ensino e pesquisa tem a missão de desenvolver estudos voltados para o valor econômico, enquanto o governo um caráter de intermediar as relações e suprir dentro das normas e leis vigentes as necessidades, deste que este promova a desenvolvimento da sociedade.

Localizando uma nova perspectiva da inovação de da necessidade da TCT, nota-se que os fatores antropotecnológicos podem ser benéficos ou envolver características negativas, pois esta ciência retrata a natureza humana e suas reações sobre o meio que o envolve e o impacta (WISNER, 1992). Por isso deve-se ter o pensamento alinhado com as mudanças e a complexidade do mundo, para se buscar fatores antropotecnológicos positivos (PENG; WANG; JIANG, 2008). O pensamento direcionado para as diretrizes antropotecnológicos, promovem a adaptação da tecnologia, bem como pode haver uma adaptação da sociedade para com essa nova tecnologia. (RODRIGUES, 2014).

Os estudos antropotecnológicos abordam sobre a cultura de quem recebe a tecnologia e o conhecimento, os quais são aspectos relevantes a serem considerados, mas na ocorrência de inovações por transferência de tecnologia de um país para o outro ou de uma organização para a outra, há dissipação não apenas de uma tecnologia, mas de um pensamento voltado para a uma cultura que deve estar apta a receber a informação e ajusta-la conforme seu modo de trabalho (RODRIGUES, 2014).

Os impactos antropotecnológicos da tecnologia sobre o homem e o conhecimento imputado ao mesmo, origina o norteamento das características seja para o ser humano como um propagador, ou um receptor desta nova aliança formulada entre os parceiros. (LUZ; KOVALESKI; ANDRADE, 2016).

Pagani, Kovaleski e Resende (2018), mencionam que a transferência da tecnologia é uma prática necessária nas empresas, inclusive para os países, pois determina a difusão não apenas de uma tecnologia, mas contém um conhecimento tecnológico que é apoio para o crescimento econômico.

Walter (2017) consolida esta informação ao citar que a TCT pode não ocorrer de forma completa, nestes casos tem-se a formação de uma “Ilha”, seja pelo aspecto do conhecimento ou da tecnologia. Neste caso, surge um novo cenário, geralmente com características locais e territoriais.

O consultor em patentes Ari Magalhães (2020) discorre sobre negócios e cita que a transferência de tecnologia se torna mais vantajosa quando se tem ganhos financeiros e este pode ser adquirido com a valorização e a visão de pontos específicos sobre o produto patenteado, como: A patente alavanca recursos e serve como garantia como bem bancário, Licenciamento de direitos a terceiros através de contrato pressupondo luvas ou *royalties*, a patente rompe a Lei n. 8.666, artigo 25 ao solicitar licitações, podendo ser utilizado um produto inovador que traga vantagens a sociedade que não tenha similar no mercado. Outros aspectos da patente é apresentar exclusividade de direito tanto para importação ou exportação, há

também, o direito de receber indenizações sobre o produto patenteado, com vistas sobre a produção, redução de *marketing share*, e há o direito de transferência da titularidade da patente. Esses itens são considerados relevantes para se obter patentes e gerar facilidade para se transferir a tecnologia, como um processo de negócio.

Para compreender essa complexidade, tem que fazer compreender o ambiente competitivo que envolve os agentes envolvidos.

2.8 PATENTES COM PROCESSOS DE RECICLAGEM DE PNEUS

Criou-se um portfólio das patentes conforme perfil com o estudo deste trabalho, onde foram alocando diferentes patentes conforme os principais meios de reciclagem de Pneus em fim de vida, reconhecidos junto ao meio científico e comprovados pelos principais bancos de dados como a *Lens* (2018), *Google Patents* (2018) e *Espacenet* (2018).

2.8.1 Criogenia

Conforme método por criogenia há congelamento rápido da borracha dos pneus, e estas são quebradas promovendo partículas de diferentes granulometrias. O Quadro 2 apresenta as patentes com o método de criogenia.

As patentes que se utilizam do processo criogênico, tem em comum a descrição de máquinas e suas partes, algumas patentes entram no aspecto de como deve ser o misturador, enquanto outras patentes, descrevem a máquinas de criogenia com um novo mecanismo de abastecimento. Há patentes que buscam relatar a eficácia do processo ao destacar a granulometria ultrafina das partículas de borrachas quebradas pela criogenia.

Contudo, uma das principais características desse processo é a presença na etapa final de partículas de borrachas de pneus com diferentes granulometrias, e a presença residual do negro de fumo.

Quadro 2 - Patentes sobre método de reciclagem de pneus via criogenia

Patente	Ano da Concessão	Nome da patente	Autor(es)	Processo de Reciclagem	Principais Características	Subproduto Gerado
CN205980525U	22/02/2017	Refrigerador de painel conectado a tubos interno da caixa de refrigeração de um molde de espuma.	Tao Xiaoyan	Criogenia	Resfriador de gás nitrogênio, com área que estará em contato com a borracha do pneu, e o congelamento provocado promoverá a quebra da borracha particulada.	-
CN206198950U	31/05/2017	Aparelho de pulverização para adsorção criogênica de gases na utilização de produtos	Liu Jingwei Duan Xiaoyu Shi Yan	Criogenia	Descreve uma máquina com processo criogênico, cuja função é a quebra de pneus em partículas. A máquina possui três câmaras, tanque para líquido e tanque para descarte de impurezas do processo.	Negro de fumo
CN206387181U	08/08/2017	Planta de pré-resfriamento de nitrogênio de alta pureza, que economiza energia.	Xu Hao <i>et al.</i>	Criogenia	Unidade de purificação de partículas contendo nitrogênio de alta pureza.	-
CN107127910A	05/09/2017	Triturador e reciclagem de pneus e seu método de operação.	Xing Zhanwei Chen Saifei Zhao Kui Liu Peng	Criogenia	A invenção refere-se a um triturador que promove a reciclagem de borrachas de pneus, usando um equipamento de trituração.	Partículas de pneus com diferentes granulometrias.
CN206653561U	21/11/2017	Aparelho para produção de pós de utilizando a baixa temperatura no processo de quebra da borracha	Niu Dongyu Indus Yu Yitong	Criogenia	Congelamento duplo da borracha e sua quebra em partículas menores. No processo de filtração, o equipamento remove metais por meios magnéticos.	Geralmente gera resíduo de partículas de pós muito finos de borrachas de pneus
CN206887031U	16/01/2018	Um sistema de quebra contínuo por baixa temperatura de borracha	Canção Dingquan	Criogenia	Fracionamento por baixa temperatura, usando processo contínuo.	Gera produção de fragmentos de borrachas de pneus.
CN206887031U	16/01/2018	Um sistema de quebra contínua de borracha de	Canção Dingquan	Criogenia	Sistema criogênico contínuo para quebrar a borracha dos pneus. Inclui uma unidade de clivagem, unidade	-

		pneus a baixa temperatura.			de processamento para petróleo e gás, unidade térmica e unidade de tratamento por gás e sua exaustão.	
CN206913515U	23/01/2018	Equipamento de britagem a baixa temperatura para reciclagem de pneus	Wan Zhitao	Criogenia	The tire is moistened and then suffers the cryogenic process. It is fragmented into small particles through the process of roller pressing	Partículas de pneus com diferentes granulometrias.
CN206913515U	23/01/2018	Equipamento de britagem a baixa temperatura para reciclagem de pneus	Wan Zhitao	Criogenia	Equipamento que tritura borrachas de pneus inservíveis, pelo processo criogênico	Partículas de pneus em várias granulometrias
CN207013116U	16/02/2018	Aparelho de produção de pós ultra-finos.	Li Shaotong	Criogenia	Equipamento que gera partículas ultrafinas através de criogênicos, utilizando um processo muito rigoroso e controlado, e para filtragem de partículas apresenta centrífuga.	Gera pós ultra-finos de borrachas de pneus inservíveis.
CN207013116U	16/02/2018	Aparelho para produção de pós ultrafino	Li Shaotong	Criogenia	Aparelhos com pré-processador, com agitação, contendo misturadores de líquidos criogênicos, entre outros componentes e funcionalidades.	-
CN207072657U	06/03/2018	Cinders, uma alimentação de ar de resfriamento	Zhao Ran <i>et al.</i>	Criogenia	Produção de pós de borracha de pneu por resfriamento causado por ar frio; promovido por meios semelhantes ao criogênico.	Gera partículas finas de pós de borrachas.

Fonte: Autoria própria

2.8.2 Pirólise

Em geral o processo via pirólise tem como seu fundamento a colocação de pneus em uma câmara, a qual é controlada a atmosfera bem como a temperatura e pressão; podendo ter ou não a presença de gás inerte. O gás gerado nesse processo passa por um condensador onde se forma diferentes tipos de óleos, conforme a extração em estágios diferentes do condensador. O Quadro 3 traz as patentes via processo de pirólise, destacadas conforme método de análise.

As patentes mostram inovações quanto a extração dos óleos, quanto a utilização de plasma para acelerar a produção via pirolise, e outras patentes registram a técnica de pré-aquecimento da câmara e o sistema de fluidizadora dos diferentes óleos. O aspecto fraco da pirólise é que há como resíduo a presença do negro de fumo dos pneus.

Quadro 3 - Patente sobre método de reciclagem de pneus via pirólise

Patente	Ano de concessão	Nome da Patente	Autor(es)	Processo de Reciclagem	Principais Características	Subproduto gerado
CN205838923U	28/12/2006	Sistema de rápido processo de pirólise para pneus.	Zhao Yanbing, Chen Shuiying, Schonson	Pyrolysis	Sistema de pirólise.	-
CN105419827	23/03/2016	Sistema de pirólise de sedimentos oleosos do trocador de calor de tubo duplo por plasma.	Liu Fei Geng Jian	Pirólise	Óleo sedimentado por pirólise via plasma para acelerar a produção.	Óleo.
US2017096537	06/04/2016	Resina éster de cianato de benzoxazina para densificação via pirólise de compósitos carbono-carbono.	Fowler Gray E.	Pirólise	Método para gerar compósito de carbono, incluindo fibras de carbono com um composto de resina benzoxazina, e uma mistura de éster de cianeto.	Compósito de carbono.
CN105754628b	13/07/2016	Sistema de clivagem na câmara de pirólise e de decomposição de pneus e seus resíduos.	Chen Shuiqi Lei Xiao Xue Xun Wu Daohong	Pirólise	A presente invenção pertence à criação de pirólise de resíduos de pneus, processo para aquecimento na câmara com a preparação baseada na quebra das partículas de pneus usados gerando gases combustíveis.	Gases combustíveis mais puros.
US9505997B2	29/11/2016	Método produz monóxido de carbono a partir de dióxido de carbono.	Charles B Hillhouse	Pirólise	Método produz monóxido de carbono a partir de dióxido de carbono.	Método produz monóxido de carbono.
EP1879978B1	04/12/2016	Método e sistema de pirólise de pneus inteiros.	Dimitar Nikolaev Kolev	Pirólise	Método e aparelho para pirólise de pneus usados, em que pneus inteiros são diretamente aquecidos em um forno do tipo túnel com gases de combustão (pirólise). O processo produz energia térmica, negro de fumo e óleo mineral. Os gases de combustão resfriados são purificados a partir de óxidos de enxofre antes de serem liberados na atmosfera.	Deixa rejeitos como negro de fumo e gás de enxofre.
US9511337B2	06/12/2016	Método e aparelho para extração de fibra de partes compostas.	Alexander Engels Tassilo Witte	Pirólise	Apresenta um método e um aparelho para extrair uma fibra longa, de uma matriz de resina composta; em que a fibra é extraída como uma única peça, desenrolando-se após um tratamento de pirólise para uma decomposição da sua Matrix.	Fibra longa de carbono.

RU2015122814	10/01/2017	Método para síntese de benzociclobuteno por pirólise de sais de amônio quaternário e de cloretos de 2-metilbenzil- (trialquil) amônio.	Levchenko Konstantin Sergeevich <i>et al.</i>	Pirólise	Um produto de alta conversão pode ser obtido com um rendimento mínimo de subprodutos corrosivos (prejudiciais às superfícies metálicas do equipamento a vácuo).	
CN205974398U	22/02/2017	Sistema de pirólise de pneus causado por fissuração catalítica	Camada Camada, Chen Shuiying, Xiao Lei	Pirólise	Processo de pirolise para gerar gás combustível.	Óleo combustível.
CN205974393U	22/02/2017	Sistema de fragmentação dos pneus em tubo, via processo de pirólise.	Camada camada, Chen Shuiying, Xiao Lei	Pirólise	Máquina de reciclagem de pneus por pirólise.	-
US9580657B2	28/02/2017	Aparelho e método de pirólise de leite fluidizado.	Michael David Heydenrych	Pirólise	Um aparelho de pirólise de alimentação carbonácea é fornecido incluindo dois ou mais câmaras fluidizados de partículas quentes e um ou mais aparelhos de deslocamento positivo para a transferência destas, entre duas ou mais câmaras podendo ter uma delas contendo zona de combustão.	Método gera o negro de fumo.
CN206143129U	05/03/2017	Pirólise de pneus sem cargas com a remoção de poeira através do sistema de fissuras.	Camada Camada, Chen Shuiying, Xiao Lei	Pirólise	Por pirólise do pneu, há uma quebra na estrutura química, gerando gás para combustível.	Gás para combustível.
CN206051560U	29/03/2017	Sistema por preparação de pneus sem carga de carbono ativo, com coletor de pós.	Zhao Yanbing, Chen Shuiying, Jiang Chaoxing	Pirólise	Sistema via pirolise com processo para remover impurezas.	Gera gás e produz carbono ativado de qualidade.
RU2624202C1	03/04/2017	Método de produção de combustível sintético a partir de pneus usados.	Dmitry Isaakovich <i>et al.</i>	Pirólise	Descreve o processo de extração de combustível sintético derivado de pneus.	Combustível sintético.
CN206089570U	12/04/2017	Sistema para pirólise de pneus sem carga.	Zhang Hongwei Zhao Yanbing Chen Shuiying	Pirólise	Equipamento para reutilização de resíduos de pneus mediante quebra de partículas por pirólise.	
CN206089578U	12/04/2017	Equipamento de utilização abrangente de resíduos de borracha.	Gao Qiong Ma Jin Li Weibo	Pirólise	Equipamento para reciclagem de resíduos.	Extração de óleo e gás.

CN206109318U	19/04/2017	Sistema conciso de óleo de pirólise.	Mingguo Ying <i>et al.</i>	Pirólise	Sistema de extração de óleo de pneus usados.	Óleos.
CN106590713A	26/04/2017	Sistema de tratamento de reciclagem por pirólise de resíduos de pneus.	Hu Qizhong	Pirólise	A invenção descreve um sistema de tratamento de reciclagem via processo de pirólise de pneus usados, que compreende equipamento de pré-tratamento, um forno de pirólise, um sistema de tratamento de subprodutos, e um sistema de purificação de gases residuais, em que o equipamento de pré-tratamento é conectado a uma entrada da câmara de pirólise	O sistema de tratamento de reciclagem por pirólise de pneus usados, pode efetivamente absorver e filtrar poluentes gasosos como o enxofre e o nitrogênio, poeira e outros componentes da poluição nos gases residuais.
RU169883U1	04/05/2017	Aparelho de pirólise para reciclagem de materiais de borrachas.	Vladimir Sergeevich Malkin	Pirólise	O reator é cilíndrico com um fundo plano que transforma partículas de borrachas de pneus de tamanho entre 10 e 15 mm em partículas menores.	Negro de fumo e pós de borrachas de pneus inservíveis.
CN206204225U	31/05/2017	Reator contínuo de sucata de pneus via processo da pirólise a baixa temperatura.	Wu Xiaofei <i>et al.</i>	Pyrolysis	Reator de pirólise contínua para tratamento de resíduos de pneus, com separador magnético de impurezas metálicas.	-
CN106738458A	31/05/2017	Sistema de eliminação de pneus.	Zhang Hongwei Zhao Yanbing Lei Mei Chen Shuiqi Zhang Jianqiang Wu Daohong	Pirólise	O sistema compreende uma máquina de trefilação de arame de aço, um pulverizador, um separador magnético, um reator de pirólise, um parafuso de descarga de escória, e um forno.	Óleos.
CN206278916U	27/06/2017	Sistema para tratamento de objeto descartado inertes.	Wu Xiaofei <i>et al.</i>	Pirólise	Sistema para extração de óleo por pirólise, com uso de forno.	Óleo.
RU172538U1	11/07/2017	Aparelhos que descarrega produtos da pirólise seca.	Vyacheslav Anatolievich Filippenkov	Pirólise	Dispositivo para processamento de resíduos urbanos sólidos, incluindo pneus.	-
CN206405159U	15/08/2017	Sistema para trabalhar com resíduos sólidos	Zhao Yuejing <i>et al.</i>	Pirólise	Método para se trabalhar com partículas de produtos reciclados, como pneus.	-
RU2632293C1	03/10/2017	Dispositivo para processamento de resíduos de borracha.	Alexey Sergeevich <i>et al.</i>	Pirólise	Reator com forno cilíndrico, com evaporador e outros sistemas para gerenciamento de resíduos	-
KR101798355B1	15/11/2017	Gaseificador de pirólise, incluindo aparelho automatizado de tratamento de cinzas.	Lim Duk-Joon Lim Young Taek	Pirólise	Descreve o processo de pirólise e tratamento de resíduos.	Para produção de gás pela quebra da cadeia molecular de pneus.

US9822003B2	21/11/2017	Processo e aparelho para gaseificação de escória derretida de combustíveis sólidos.	Bernd Meyer	Pirólise	Um processo e um aparelho para gaseificação de escória derretida de combustíveis sólidos em um gaseificador de escória com maior rendimento, uma gama maior de combustíveis sólidos que podem ser usados e melhor qualidade do gás gerado.	Método que gera negro de fumo.
CN206765151U	19/12/2017	Triturador por fricção usado para produção de reciclagem de borrachas.	Luo Weichuan <i>et al.</i>	Pirólise	Triturador de borracha para pneus.	Partículas de borrachas de pneus.
CN107488455A	19/12/2017	Método para melhorar os resíduos obtidos a partir de resíduos de pneus pirolisados como o negro de fumo	Cao Qingyi Li Wei Li Yuexian Zhang Xue	Pirólise	O método é caracterizado por compreender: tratamento de pneus usados por 2-5 h a uma temperatura pirolítica de 550-800 ° C para obter resíduo sólido; com a ajuda de uma onda supersônica atuante no sistema.	Negro de fumo.
CN206799535U	26/12/2017	Equipamento para suspensão de polímeros incandescentes via processo catalítica, ou objetos descartados de borracha.	Yin Xiaolin	Pirólise	Método catalítico que visa a quebra de borrachas em partículas.	Partículas de borrachas.
CN206916075U	23/01/2018	Forno de craqueamento (quebra) de resíduos de pneus.	Ele Xiaofeng, Yu Hualong, Zhang Zhentang	Pirólise	Forno para reciclagem de pneus.	Óleo.
US9884804B2	06/02/2018	Catalisadores de carbono com tratamento de superfície produzidos a partir de resíduos de pneus para conversão de ácidos graxos em biocombustíveis.	Zachary D. Hood <i>et al.</i>	Pirólise	As partículas do pneu são pirolisadas para produzir peças compostas de carbono. Essas peças são moídas para posterior produção de catalisadores ácidos e biocombustível.	Biocombustível.
CN206986099U	20/02/2018	Tipo de aparelho de reciclagem de pneus usados para reciclagem.	Meng Qiaoli Zhang Yan Zhao Ran	Pirólise	Dispositivo de enchimento lateral para reciclagem de pneus via processo de pirólise.	-
CN207072926U	06/03/2018	Equipamento a gás de reciclagem de pneus via pirólise.	Zhang Bin <i>et al.</i>	Pirólise	Equipamento a gás para reciclagem de pneus.	Gera óleos pelo processo de pirolise.
CN207121575U	20/03/2018	Tipo de sistema de pirólise de leito, com movimento	Camada Camada <i>et al.</i>	Pirólise	Processo por pirólise que regenera pneus usados.	Geralmente gás e óleos

		regenerativo de pneus usados.				
US9920262B1	20/03/2018	Método de separação de óleos pelo processo de pirólise.	Jonathan Lyle Wistrom <i>et al.</i>	Pirólise	Separação de uma fração leve e uma fração mais densa do óleo gerado por pirólise, permitindo a extração de elementos químicos.	Extração de enxofre e nitrogênio do óleo de pneus.
US9920712B1	20/03/2018	Método para formar uma pluralidade de material carbonáceo.	Ravi Chandran <i>et al.</i>	Pirólise	Sistema que utiliza material de pneu para geração de gás por reação termoquímica.	Geração de gás via processo termoquímico.
CN207227348U	13/04/2018	Sistema de quebra da borracha de pneus usados.	Ma Tibing <i>et al.</i>	Pirólise	Sistema de fracionamento de resíduos de pneus processados.	-
CN207224368U	13/04/2018	Recuperação magnética de pneus usados.	Li Guoyou	Pirólise	Equipamento para reciclagem de pneus via pirólise, com separador de partículas metálicas.	-
CN207224369U	13/04/2018	Aparelhos de dessulfuração de pneus para geração de partículas de resíduos.	Li Guoyou	Pirólise	Equipamento com tanque com amônia, que visa moer os pneus, produzindo partículas menores.	Partículas com baixas taxas de oxidação.
CN205664385U	26/10/2018	A matéria orgânica é seca para utilização posterior do sistema de pirólise.	Li Aimin Zhang Lei	Pirólise	Secagem de resíduos para promover a pirólise	-

Fonte: Autoria própria

2.8.3 Microondas

É um processo caracterizado pela presença de uma ou mais câmaras que armazenam os pneus em fim de vida, que em seguida são atingidos por microondas, as quais têm a função de quebrar as cadeias das ligações químicas que compõem os pneus, e promover partículas, as quais são oriundas das borrachas destes pneus. No Quadro 4 pode-se visualizar exemplos das patentes coletadas conforme método do estudo aplicado.

Entre as patentes citadas abaixo se tem inovações como o equipamento para manter a temperatura do processo por micro-ondas, tem-se a utilização dos vapores gerados pelo processo para reaquecer o próprio sistema, existe o uso de eletromagnetismo utilizando ímãs para auxiliar na geração das micro-ondas e equipamentos funcionando via *wifi*. O que se verifica em comum é um resíduo que pode ser o negro de fumo ou ainda borrachas de pneus residuais em fragmentos finos carbonáceos.

Quadro 4 - Patente sobre método de reciclagem de pneus via microondas

Patente	Ano da Concessão	Nome da patente	Autor(es)	Processo de reciclagem	Principais características	Subproduto gerado
CN105802269A	27/07/2016	Método de reciclagem de pneus inservíveis.	Li Mengping	Microondas	O método de reciclagem de pneus usados inclui as etapas de triturar borracha de pneus usados, misturando a borracha de pneus usados com óleos pesados, submetendo ao processo por microondas, carbonizando o produto com ataque de íons. Depois, misturando o produto carburado com fibras de pós de pneus, adicionando cargas, adesivos e similares antes da extrusão e moldagem por prensagem.	Compósito gerando madeira-plástica
US2015035547	01/11/2016	Inspeção de pneus usando metodologias de imagem	Zoughi Reza, Ghasr Mohammad Tayeb	Microondas	Equipamento de inspeção de pneus usados por microondas.	-
CN205904223U	25/01/2017	Dispositivo de recuperação de resíduos sólidos petrolíferos.	Bao Minglan <i>et al.</i>	Microondas	Recuperação de resíduos sólidos de petróleo, usando microondas para promover decomposição do material residual.	-
CN1068299955A	13/06/2017	Método para obter carvão ativado a partir de resíduos de borracha de pneus por microondas à vácuo.	Zhang Jingyu Tong Tong Liu Lei Sun Jintao Zhou Quanfa	Microondas	Equipamento que deve manter a temperatura por 4-6 horas e se resfriado naturalmente até a temperatura ambiente; triturar uma amostra obtida em grânulos, peneirar, molhar os primeiros grânulos da amostra em solução de HNO ₃ e embeber ainda mais em uma solução de NaOH, obtendo, assim, grânulos de carvão ativado.	Carbono ativado
CN206251873U	16/06/2017	Equipamento de processamento por vapor de microondas.	Daming Fan Huang Jianlian Zhou Wenguo Zhang Wei Cao Hongwei Shen Zhixiang Gao Wenhua Yu Tenghui Zhang Wenhai Ye Lei Weijian Dengying	Microondas	O modelo de utilidade refere-se a um equipamento que utiliza o vapor de microondas que se alia a si próprio para o processamento de produtos surimi. Modelagem de cura por microondas gerando a gelatinização por aquecimento.	Gelatinização por microondas de borrachas de pneus usados.

			Zhao Jianxin Zhang Qingmiao Chen Wei			
US9698607B2	04/07/2017	Transferência de energia sem fio em rede segura.	Morris P. Kesler	Microondas	Um receptor sem fio para uso com um primeiro ressonador eletromagnético acoplado a uma fonte de alimentação. O primeiro ressonador eletromagnético tendo um modo com uma frequência ressonante. O segundo ressonador eletromagnético está configurado para ser ligado (sem fio) ao primeiro ressonador eletromagnético para fornecer ressonância (não radiativa). A energia sem fio enviada para o segundo ressonador eletromagnético a partir do primeiro ressonador; e o uso de um recurso de comunicação para confirmar a compatibilidade do primeiro e do segundo ressonadores, capaz de fornecer autorização para o início da transferência de energia.	-
US9742204B2	22/08/2017	Transferência de energia sem fio de microondas, em ambientes com perdas.	Andre B. Kurs	Microondas	São descritas configurações para uma transferência de energia sem fio para dispositivos eletrônicos que incluem pelo menos um ressonador magnético de fonte, incluindo um circuito condutor capacitivamente carregado e acoplado a uma fonte de energia. Sendo este, configurado para gerar um campo magnético oscilante e pelo menos um ressonador magnético de dispositivo distal.	Equipamento de microondas sem fio.
CN107141508A	08/09/2017	Processo de dessulfuração e tratamento de ativação de resíduos de pneus em pó de borracha.	Li Guoyou	Microondas	O processo de tratamento de dessulfuração do resíduo de pó de borracha para pneus de compreende as etapas: realização de tratamento por microondas e pré-sulfurização do pó de borracha de pneus usados, adição de aditivos de dessulfuração, realização de reação de dessulfuração química de cisalhamento mecânico em uma extrusora de parafuso duplo, e, finalmente, realizando a ativação do plasma a baixa temperatura para obter pó de borracha.	Obter resíduos de pós de borracha.

US9780605B2	03/10/2017	Equipamento de energia de rede sem fio de impedância associada.	Andre B. Kurs	Microondas	Rede sem fio para alimentar um dispositivo com um monitor eletrônico que inclui: um loop de material condutor, o ressonador do dispositivo sendo acoplado a um componente de monitor eletrônico; uma rede correspondente acoplada ao loop de material condutor. Incluindo elementos capacitivos; e circuitos de energia e controle acoplados à rede correspondente em dois terminais, sendo configurados para conectar-se a uma carga do componente do monitor eletrônico.	-
US9806541B2	31/10/2017	Acessório de ressonador flexível.	David A. Schatz	Microondas	São descritas configurações para uma transferência de energia sem fio para dispositivos eletrônicos. O acessório reconfigurável entre uma fonte e um dispositivo é realizado usando ímãs permanentes ou eletroímãs.	Resulta no negro de fumo;
CN107325323A	07/11/2017	Método assistido por fluido supercrítico (álcool etílico) para promover dessulfuração e regeneração de pó de borracha de pneus.	Li Guoyou	Microondas	A radiação de microondas é utilizada para tratar o pó de borracha de pneu. Uma parte das ligações S-S e C-S em uma estrutura reticulada de energia de borracha é quebrada e a densidade de rede reticulada do pó de borracha é reduzida; então, sob ação do álcool etílico, um aditivo de dessulfuração é auxiliado a penetrar mais facilmente no pó de borracha de pneu; assim, uma taxa de penetração e difusão do aditivo de dessulfuração é aprimorada, e a reação de regeneração e dessulfuração da borracha de pneus sem carga é encurtada e estabilizada.	Carbono ativado.
CN206646052U	17/11/2017	Dispositivo de modificação de material macromolecular por radiação contínua de microondas.	Hao Xiaoli, Bao Weiwei, Deng Zhifeng, Jiang Peng	Microondas	Quebra de macromoléculas em borrachas de pneus.	-
CN107353461A	17/11/2017	Regeneração de borracha residual.	Tang Fanlu Lizhu Li Guang Li Ting Jiang Shui Jin Fei Dazhuang	Microondas	O método compreende as seguintes etapas: vulcanizar o pó recuperado pelos resíduos e o pneu velho é submetido a aquecimento eletromagnético para pré-aquecimento preliminar, o material é processado por uma máquina de plastificação, e em seguida o material é resfriado para obter pó de borracha	Recuperação de pós de borracha de pneus.

					semi-hidratado, onde é submetido ao processo de microondas, tendo um aquecimento preliminar. Há o processo com forte efeito de cisalhamento por uma extrusora de parafuso, o material é resfriado para obter a micela super dessulfurizada, finalmente o pó de borracha semi-hidratada, sofre vulcanização para gerar pós de borrachas controlados.	
US9843228b2	12/12/2017	Máquina de impedância em sistemas de energia sem fio.	Andre B. Kurs	Microondas	Sistema de rede sem fio para alimentar uma televisão que inclui um ressonador de origem, configurado para gerar um campo magnético oscilante e pelo menos um televisor conectado a pelo menos um ressonador do dispositivo. O ressonador de dispositivo está configurado para receber energia sem fio do ressonador de origem através do campo magnético oscilante.	Imagens promovidas por eletromagnetismo de fissuras e controle da qualidade da borracha de pneus usados.
CN107473216A	15/12/2017	Método para gerar carbono, utilizando resíduos de borracha de pneus.	Yang Yang Zhao Jing Mao Xiaoying Hu Wei Zhong Xinli Hu Maoli	Microondas	O método compreende as seguintes etapas: 1) remoção de sedimentos e sujeira em pneus usados, remoção de metal e fibra, secagem e trituração em partículas; 2) realizar secagem por microondas e coletar sólidos, com potência do microondas é de 400 a 800 W e o tempo é de 30 a 60 minutos; 3) tratamento dos sólidos coletados usando peróxido de hidrogênio e secagem de modo a obter coque; 4) adicionar o coque a um forno, aquecendo os sólidos a obter carbono ativado.	Carbono ativado.
CN206799498U	26/12/2017	Dispositivo de guia de microondas para transmissão junto a borrachas inservíveis.	Li Zhihua Guo Nan	Microondas	Descrição do processo de recuperação de fissuras em borrachas de pneus, prolongando o tempo de uso.	Pneus recuperados com vida útil prolongada.
CN206799535U	26/12/2017	Equipamento para suspender polímeros incandescentes com/de trincas catalíticas ou objetos descartados de borracha.	Yin Xiaolin	Microondas	Equipamento para suspender plásticos incandescentes de trincas catalíticas ou objetos descartados de borracha na câmara por microondas.	Pode produzir combustível alternativo.
CN207044468U	27/02/2018	Sistema de promoção da quebra dos resíduos de borracha.	Jiang Shuijin <i>et al.</i>	Microondas	Equipamento para reciclagem de pneus inservíveis por microondas.	-

CN107814993A	20/03/2018	Método para preparar piso de borracha utilizando borracha recuperada de pneus usados.	Chen Wei Sun Weile	Microondas	Método para preparar um piso de borracha utilizando borracha recuperada de pneus usados. Há separação magnética, para que seja obtido o pó de borracha com maior superfície específica; em seguida, adicionando um catalisador de dessulfuração ao pó de borracha de pneu por microondas, realizando cisalhamento as ligações enxofre-enxofre e as ligações carbono-enxofre, utilizando energia de microondas sem destruir as ligações carbono-carbono.	Pisos de borracha.
CN207130588U	23/03/2018	Promove a Degeração térmica por microondas.	Zhang Jiangyong <i>et al.</i>	Microondas	Equipamento com zonas próprias para aquecimento das borrachas de pneus.	Emulsão asfáltica.
CN105949557B	10/04/2018	Equipamento para recuperação de material - borracha residual é recuperada.	Chen Sichi <i>et al.</i>	Microondas	Equipamento que visa recuperar falhas/fissuras nas borrachas de pneus	Pneus recuperados com vida útil prolongada.
US20180099871A1	12/04/2018	Reator de Microondas com Separação por via de Gás-Sólidos.	David Tanner Daniel Cook Bryce H. Anzelmo Ranjeeth Kalluri	Microondas	Há um sistema de processamento químico por microondas com um reator de plasma via microondas, e um sistema de separação gás-sólido em várias etapas. A fonte de energia de microondas possui uma zona de reação.	
CN207227348U	13/04/2018	Sistema de craqueamento de borracha inservíveis.	Ma Tiebing Du Guodong Zeng Yiqing Li Xiaoyun Gao Yongzhen Fuli Wu Wang Yongjin Hu Guangwei Dong Wei	Microondas	O modelo de utilidade fornece sistema de craqueamento de borracha.	Negro de fumo.

Fonte: Autoria própria

2.8.4 Microbiológico ou Biológico

É um processo que utiliza microorganismos bacterianos para decompor a estrutura química dos Pneus em fim de vida, geralmente, promovendo partículas menores de borrachas. O Quadro 5, abaixo, mostra as patentes com o perfil da pesquisa deste estudo, com foco no processo microbiológico ou biológico.

Material celulósico, óleos sintéticos e minerais, são alguns dos itens usados para combinar com microorganismos biológicos para recuperar borrachas ou para degradá-la mais rapidamente acelerando o processo de reciclagem. As patentes indicam caminhos diferentes, mas com o objetivo em comum, que é prolongar a vida útil das borrachas. O Quadro 5 mostra também uma patente que usa o processo microbiológico para controlar o desgaste da borracha.

Quadro 5 - Patentes sobre método de reciclagem de pneus via microbiológico ou biológico

Patente	Ano da concessão	Nome da patente	Autor(es)	Processo usado para reciclar	Principais características	Subproduto gerado
CN105462612	06/04/2016	Novo processo de produção de óleos para recuperação de borracha de pneus. Processo biológico, com proteção ambiental.	Han Junchang	Biológico	Recuperação de borracha por meio biológico de pneus com a combinação de óleo mineral e sintético.	Restauração de Borrachas de pneus.
US9352294B1	31/05/2016	Processamento de materiais contendo biomassa e petróleo 1.	Marshall Medoff	Microbiológico	A biomassa é processada para produzir combustíveis. Por exemplo, os sistemas podem usar matéria-prima, como materiais celulósicos e / ou lignocelulósicos e / ou materiais amiláceos, para produzir etanol e / ou butanol por fermentação.	Produz combustíveis
EP2909240B1	16/07/2016	Agente de devulcanização para produção de pó de borracha.	Svajus Asadauskas	Microbiológico	Refere-se a uma composição química de um agente de desvulcanização que é usado para recuperar resíduos de borracha por cisalhamento mecânico até a produção de pó fino.	Tamanho reduzido das partículas de borrachas.
US9409140B2	09/08/2016	Processamento de materiais contendo biomassa e petróleo 2.	Marshall Medoff	Microbiológico	A biomassa é processada para produzir itens úteis, como combustíveis.	Gera combustíveis.
RU168093U1	18/01/2017	Célula bio-eletrouímica.	Nikolai Dmitrievich <i>et al.</i>	Microbiológico	Câmaras com processo microbiológico e elemento bioeletroquímico para gestão de resíduos.	-
CN205999124U	08/03/2017	Sistema de eliminação de fluidos anaeróbico de leito de lama de borracha.	Xu Xia	Microbiológico	Equipamento que utiliza partículas de pneus para filtrar a água em um processo de tratamento de efluentes anaeróbicos.	Processo de filtragem de água.
WO2017/078522A1	11/05/2017	Método para extração de borrachas.	Van Dijk Peter Johannes Mank Rolf André	Microbiológico	Método para obter borracha a partir de material vegetal contendo borracha. O método compreende a etapa de submeter uma composição de material vegetal contendo borracha a uma cultura de fermentação anaeróbica, em que a composição tem um teor de água inferior a 95% em peso	Extração de borracha.
CN206613569U	17/11/2017	A presente invenção prática.	Qu Xiugang	Microbiológico	Descreve um aparelho de reciclagem de pneus por meio microbiológico.	-

CN107467964A	01/12/2017	Método para regeneração de borrachas.	Zhang Qiming	Microbiológico	A invenção descreve um método de preparação de borracha regenerada. O método compreende as etapas de mistura de 98 a 102 partes de pó de borracha de pneus, 4-8 partes de agente ativador, 6-12 partes de parolina e 1-4 partes de um agente antienvelhecimento, a mistura segue para aquecimento de 120-160 °C por 2-4 horas; ou mistura a 130-190 °C durante 8-12 horas.	Regeneração das borrachas.
CN206768087	19/12/2017	Incubadora microbiológica de inspeção.	Wang Suijia	Microbiológico	Equipamento para inspeção microbiológica de borracha.	Controle microbiológico de borrachas de pneus.
CN206867976U	12/01/2018	Pulverizadores para oxidação de ozônio, dispositivo para tratamento de gases residuais de pneus que usa junto com lixíviação de processo alcalino.	Jin Yongping, Gu Yuhui	Microbiológico	Descreve um equipamento para tratamento de gases residuais, originários de pneus.	-
JP6276489B1	07/02/2018	Nanofibras de celulose, usando uma composição modificada de borracha de pneus.	Kotaro Ito Ito Shinichi Onogi Masahiro Masuda	Microbiológico	Nanopartículas de celulose e borracha modificada	Borracha de pneus modificadas.
US9950966B2	24/04/2018	Fabricação de materiais contendo nitrogênio.	Alexander Oliferenko	Microbiológico	Resíduos de materiais poliméricos reticulados, tanto sintéticos (borracha de pneu de sucata, poliuretano usado e resinas epóxi) quanto naturais (biomassa de madeira, queratina e quitina), podem ser despolimerizados com alta temperatura e pressão moderadas pela ação de um reagente químico líquido microbiológico.	-
JP6317497B2	25/04/2018	Composição de borracha para banda de rodagem de pneus.	Ryoji Kojima Yokoyama Yuka	Microbiológico	Uso de Borracha natural em vez de borracha sintética, carga inorgânica e biológica em vez de negro de carbono e semelhantes, usando fibras naturais no lugar de óleo vegetal, fibras sintéticas no lugar do óleo de petróleo, pneus configurando matérias-primas que consistem em 75% em peso.	Composição de borracha para banda de rodagem.

Fonte: Autoria própria

2.8.5 Processo Misto

O processo é denominado misto quando há a presença de mais de um dos processos anteriores x relatados, atuando de forma conjunta. Isso ocorre, normalmente, quando se deseja uma degradação mais intensa na estrutura química e molecular dos Pneus em fim de vida. O Quadro 6, a seguir, mostra as patentes com processo misto.

Quadro 6 - Patentes sobre método de reciclagem de pneus utilizando processos misto

Patente	Ano da concessão	Nome da patente	Autor(es)	Processo usado para reciclar	Principais características	Subproduto gerado
CN206562405U	17/10/2017	Um processo para a recuperação de pneus sem carga	Qu Xiugang	Microbiológico + Pirólise	Modelo para recuperação de pneus	-
CN206799535U	26/12/2017	Equipamento que gera suspensão de partículas de borrachas por quebra catalítica	Yin Xiaolin	Microondas + Químico	Equipamento para decomposição de moléculas de borracha.	Combustível
CN207227348U	13/04/2018	Fissuras no sistema de borracha residual	Ma Tibing <i>et al.</i>	Criogenia + Pirólise + Microondas	Câmara de pirólise por microondas. Processo de criogenia promove as primeiras partículas de borrachas que vão seguir para a câmara.	-

Destaca-se que, entre as patentes citadas neste estudo, algumas deixam claro os resultados obtidos de seu processo; contudo, há patentes que não evidenciam os subprodutos, por isso, alguns dos campos “Subproduto gerado” não estão preenchidos.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

No capítulo 3, podem-se observar os procedimentos bibliográficos, como o portfólio para a busca de patentes adotadas, a metodologia utilizada para a preparação e composição das amostras com o ensaio mecânico e, em seguida, o estudo experimental.

3.1 ESTUDO TEÓRICO

3.1.1 Construção do Portfólio Bibliográfico

A abordagem teórica foi realizada pelas literaturas e nas patentes concedidas. A revisão sistemática da literatura existente foi realizada por meio da metodologia *Methodi Ordinatio* (PAGANI; KOVALESKI; RESENDE, 2015; PAGANI; KOVALESKI; RESENDE, 2018) conforme metodologias também descritas e utilizadas por Stadler *et al.* (2017), Campos *et al.* (2018), Cunha, Ceryno e Leiras (2019) e Muller *et al.* (2019).

O objetivo desta é selecionar artigos de acordo com sua relevância científica, tendo como foco o tema do estudo, levando-se em consideração os principais fatores a serem considerados em uma pesquisa científica: o fator de impacto da revista em que o documento foi publicado, o número de citações e o ano de publicação.

As fases da *Methodi Ordinatio*:

Fase 1 - Estabelecer o foco da pesquisa: “Reciclagem de pneus”;

Fase 2 - Pesquisa exploratória preliminar de palavras-chave em bancos de dados: os bancos de dados vinculados ao tema pesquisado foram da *Science Direct*, *Scopus* e *Web of Knowledge*;

Fase 3 - A definição de combinações de palavras-chave, com os bancos de dados bibliográficos, que estão apresentado com os resultados brutos no Quadro 7;

Fase 4 - Busca final nos bancos de dados: foram utilizados os gerenciadores de referência Mendeley® e JabRef®;

Fase 5 - Procedimentos de filtragem: foram utilizados para eliminar documentos duplicados; artigos não relacionados ao tema; documentos e livros de conferência e / ou capítulos de livros;

Fase 6 - Identificação do fator de impacto (métricas), ano e número de citações: o fator de impacto foi obtido no site *Scopus*, *Science Direct* e *Web of Knowledge*; seguindo-se esta ordem

de preferência: JCR, *CiteScore*, SJR (*SCImago*). O número de citações foi obtido no *Google Scholar*. Essas informações foram essenciais para o cálculo do *InOrdinatio*;

Fase 7 - Classificar os artigos de acordo com sua relevância científica, usando o índice da Equação de *InOrdinatio* (2). A equação, abaixo, foi aplicada em planilha eletrônica;

$$InOrdinatio = (IF / 1000) + \alpha \times [10 - (\text{Ano de pesquisa} - \text{Ano de publicação})] + (Ci) \quad (2)$$

Onde:

IF = Fator de impacto

α = Valor numérico entre 1 e 10 (mais próximo de 1, valoriza na busca de artigos mais antigos. Mais próximo de 10, valoriza artigos mais recentes)

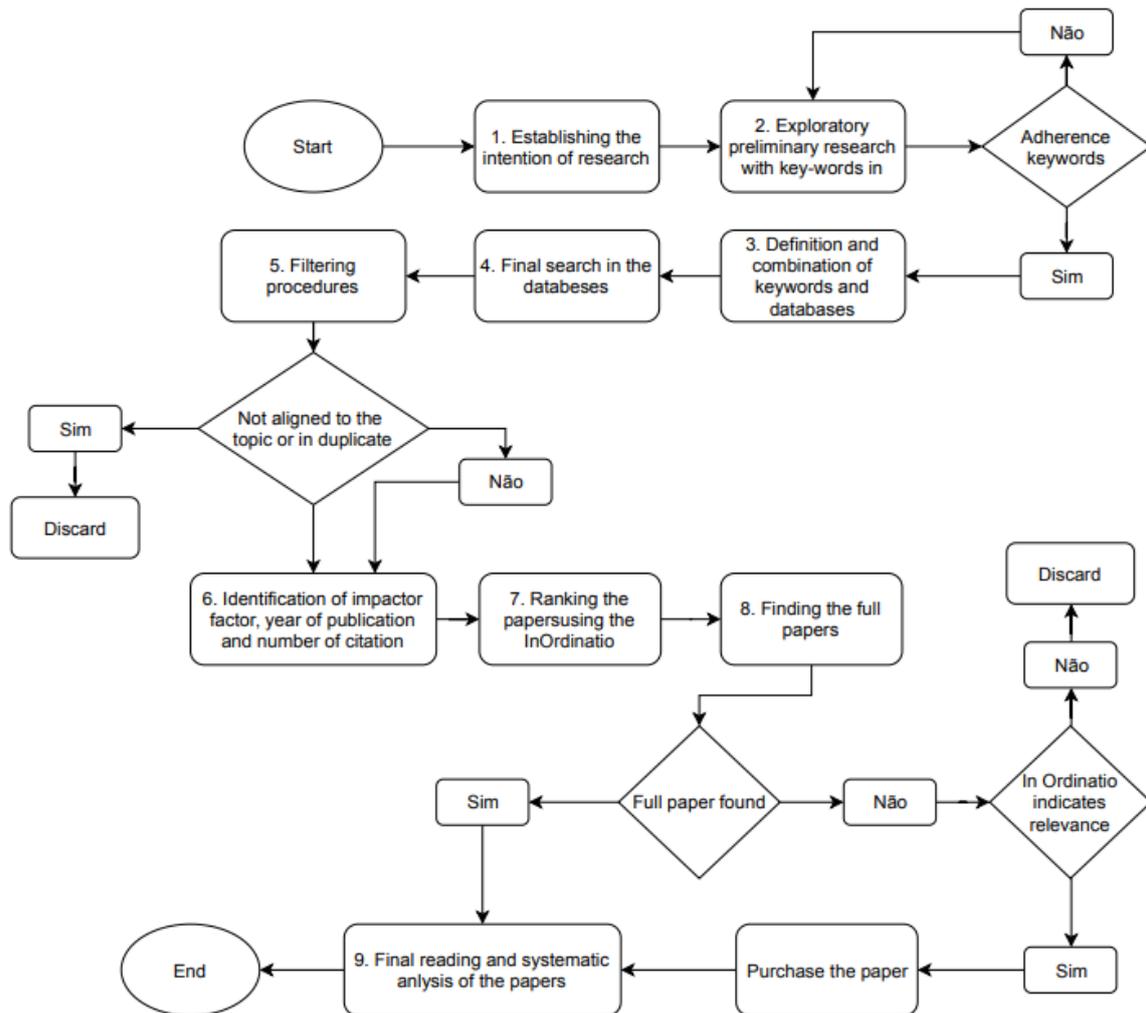
Ci= Número de citações do artigo

Fase 8 – Leitura e seleção dos artigos relevantes, conforme os textos do artigo e sua compatibilidade com o tema da pesquisa; e,

Fase 9 - Separar esses artigos mais relevantes que podem ser influenciadores no texto da tese e ordená-los conforme possível utilização junto a escrita final da tese do doutorado.

A Figura 6 representa, esquematicamente, as nove etapas da metodologia aplicada, no estudo.

Figura 6 - Fases da metodologia *Methodi Ordinatio*



Fonte: Adaptado de Pagani, Kovaleski e Resende (2015) e Pagani, Kovaleski e Resende (2018)

As etapas descritas na Figura 6 tiveram como objetivo a construção de um portfólio bibliográfico com a temática de reciclagem de Pneus no fim de vida, em conjuntura com o termo resina termofixa poliéster isoftálica e a sua facilidade nos processos de transferência de tecnologia.

Após seguida as etapas de levantamento bibliográfico pelo *Methodi Ordinatio*, segue Quadro 7, com resultado da pesquisa bruta conforme palavras chaves e suas combinações. Nessa busca há a quantidade de textos encontrados em cada banco de dados (*Science Direct*, *Scopus* e *Web of Science*). Todos os artigos encontrados seriam posteriormente analisados para se selecionar os mais relevantes conforme foco da pesquisa desta tese.

Quadro 7 - Resultados brutos da busca sistemática

	Palavras-chave e combinações	A	B	C	Total
		<i>Science Direct</i> (journal)	<i>Scopus</i> (todos os tipos de documentos)	<i>Web of Science</i> (todos os tipos de documentos)	
1	"Tire* recycling" OR "Tyre* recycling"	Search results: 63 results found for TAK ("Tire* recycling") OR TAK ("Tyre* recycling") Tempo estipulado: Todos os anos	165 document results (TITLE-ABS-KEY ("Tire* recycling") OR TITLE-ABS-KEY ("Tyre* recycling")) Tempo estipulado: Todos os anos	Resultados: 114 Você pesquisou por: Tópico: ("Tire* recycling") OR Tópico: ("Tyre* recycling") Tempo estipulado: Todos os anos	342
2	"Rubber waste"	Search results: 55 results found for TAK ("Rubber waste") Todos os anos	265 document results TITLE-ABS-KEY ("rubber waste") AND DOCTYPE (ar OR re) Todos os anos	Resultados:208 Você pesquisou por: Tópico: ("rubber waste") Todos os anos	519
3	"Transfer of knowledge and technology"	Search results: 120 results found for TITLE-ABS-KEY ("Transfer of knowledge and technology") Todos os anos	67 document results TITLE-ABS-KEY ("Transfer of knowledge and technology") Todos os anos	Resultados:40 Você pesquisou por: Tópico: ("Transfer of knowledge and technology") Todos os anos	227
4	"Anthropotecnology"	Search results: 19 results found for TITLE-ABS-KEY ("Anthropotecnology") Todos os anos	25 document results TITLE-ABS-KEY ("Anthropotecnology") Tempo estipulado: Todos os anos	Resultados: 19 Você pesquisou por: Título: ("Anthropotecnology") Tempo estipulado: Todos os anos.	63
5	"Isophthalic thermoset resin" OR "Isophthalic resin"	Search results: 7 results found for TITLE-ABS-KEY ("Anthropotecnology") Todos os anos	24 document results TITLE-ABS-KEY ("Anthropotecnology") Tempo estipulado: Todos os anos	Resultados: 13 Você pesquisou por: Título: ("Anthropotecnology") Tempo estipulado: Todos os anos.	44
6	"Tire recycling" OR "tyre recycling" AND "Rubber waste"	Search results: 33 results found for TITLE-ABS-KEY ("Tire recycling" AND "Rubber waste") Search results: 31 results found for TITLE-ABS-KEY	Search results: 4 results found for TITLE-ABS-KEY ("Tire recycling" AND "Rubber waste") Search results: 4 results found for TITLE-ABS-KEY	Resultados: 0 Você pesquisou por: Tópico: ("Tire recycling" AND "Rubber waste ") Resultados: 0	72

		("Tyre recycling" AND "Rubber waste") Todos os anos	("Tyre recycling" AND "Rubber waste") Tempo estipulado: Todos os anos.	Você pesquisou por: Tópico: ("Tyre recycling" AND "Rubber waste ") Tempo estipulado: Todos os anos.	
7	"Tire recycling" OR "tyre recycling" AND "Transfer of knowledge and technology"	Search results: 0 results found for TITLE-ABS-KEY ("Transfer of knowledge" AND "Tyre recycling OR Tire recycling") Todos os anos	0 document results TITLE-ABS-KEY ("Transfer of knowledge and technology" AND "Tyre recycling OR Tire recycling") Tempo estipulado: Todos os anos	Resultados: 0 Você pesquisou por: Tópico: ("Tyre recycling" AND "Transfer of knowledge and technology") Tempo estipulado: Todos os anos.	0
8	"Tire recycling" OR "Tyre recycling" AND "Anthropotechnology"	Search results: 0 results found for TAK("Tyre recycling OR Tire recycling" AND "Anthropotechnology") Todos os anos	0 document results TITLE-ABS-KEY ("Tyre recycling OR Tire recycling" AND "Anthropotechnology") Tempo estipulado: Todos os anos	Resultados: 0 Você pesquisou por: Tópico: ("Tyre recycling OR Tire recycling" AND "Anthropotechnology") Tempo estipulado: Todos os anos.	0
9	"Tire recycling" OR "Tyre recycling" AND "Isophthalic thermoset resin" OR "Isophthalic resin"	Search results: 0 results found for TAK ("Tyre recycling OR Tire recycling" AND "Isophthalic thermoset resin" OR "Isophthalic resin") Todos os anos	0 document results TITLE-ABS-KEY ("Tyre recycling OR Tire recycling" AND "Isophthalic thermoset resin" OR "Isophthalic resin") Tempo estipulado: Todos os anos	Resultados: 0 Você pesquisou por: Tópico: ("Tyre recycling OR Tire recycling" AND "Isophthalic thermoset resin" OR "Isophthalic resin") Tempo estipulado: Todos os anos.	0
10	"Rubber waste" AND "Transfer of Knowledge and Technology"	Search results: 0 results found for TAK("Transfer of knowledge and technology"AND "Rubber waste") Todos os anos	0 document results TITLE-ABS-KEY ("Tyre recycling OR Tire recycling" AND "Rubber waste") Tempo estipulado: Todos os anos	Resultados: 0 Você pesquisou por: Tópico: ("Transfer of knowledge and technology" AND "Rubber waste") Tempo estipulado: Todos os anos.	0
11	"Rubber waste" AND "Anthropotechnology"	Search results: 0 results found for TAK("Rubber waste" AND "Anthropotechnology") Todos os anos	0 document results TITLE-ABS-KEY ("Rubber waste" AND "Anthropotechnology") Tempo estipulado: Todos os anos	Resultados: 0 Você pesquisou por: Tópico: ("Rubber waste" AND "Anthropotechnology") Tempo estipulado: Todos os anos.	0
12	"Rubber waste" AND "Isophthalic thermoset resin" OR "Isophthalic resin"	Search results: 0 results found for TAK ("Rubber waste" AND "Isophthalic thermoset resin" OR "Isophthalic resin") Todos os anos	0 document results TITLE-ABS-KEY ("Rubber waste" AND "Isophthalic thermoset resin" OR "Isophthalic resin") Tempo estipulado: Todos os anos	Resultados: 0 Você pesquisou por: Tópico: ("Rubber waste" AND "Isophthalic thermoset resin" OR "Isophthalic resin") Tempo estipulado: Todos os anos.	0

13	“Transfer of Knowledge and Technology” AND “Anthropotechnology”	Search results: 0 results found for TAK(“Transfer of Knowledge and Technology” AND “Anthropotechnology”) Todos os anos	0 document results TITLE-ABS-KEY (“Transfer of Knowledge and technology” AND “Anthropotechnology”) Tempo estipulado: Todos os anos	Resultados: 0 Você pesquisou por: Tópico: (“Transfer of Knowledge and Technology” AND “Anthropotechnology”) Tempo estipulado: Todos os anos.	0
14	“Transfer of Knowledge and Technology” AND “Isophthalic thermoset resin” OR “Isophthalic resin”	Search results: 0 results found for TAK(“Transfer of Knowledge and Technology” AND “Isophthalic thermoset resin” OR “Isophthalic resin”) Todos os anos	0 document results TITLE-ABS-KEY (“Transfer of Knowledge and technology” AND “Isophthalic thermoset resin” OR “Isophthalic resin”) Tempo estipulado: Todos os anos	Resultados: 0 Você pesquisou por: Tópico: (“Transfer of Knowledge and Technology” AND “Isophthalic thermoset resin” OR “Isophthalic resin”) Tempo estipulado: Todos os anos.	0

Fonte: Autoria própria

As palavras-chave pesquisadas estão apresentadas no Quadro 8, a seguir, onde segue a quantidade de trabalhos considerados específicos e valiosos para compor a escrita, e ser a base científica deste estudo. Conforme filtragem, foram descartados artigos que não estavam em consonância com o tema ou com o foco do estudo.

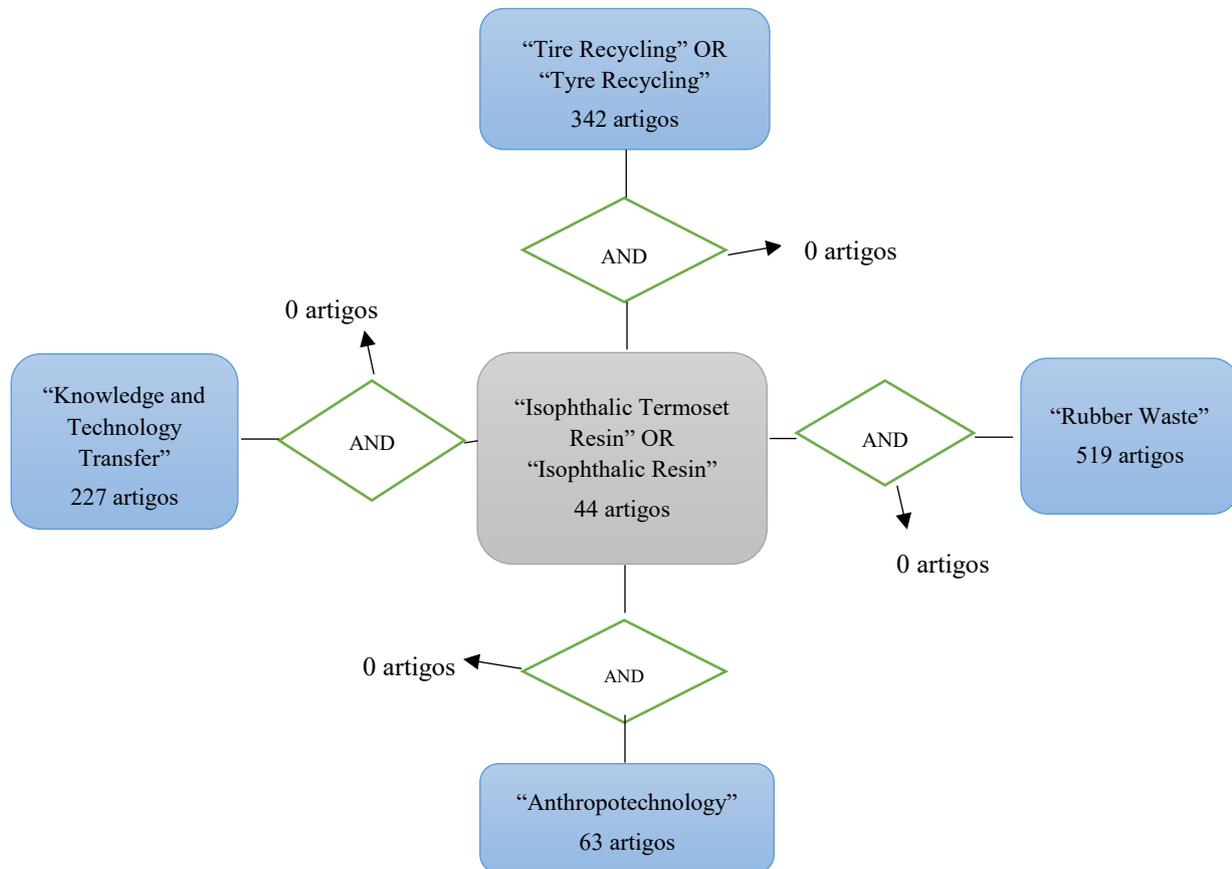
Quadro 8 - Resumo das palavras chaves e trabalhos selecionados após filtragem

Grupo	Palavras chaves e combinações	Artigos de Jornais, Revistas e Capítulos de livros
1	“Tire* recycling” OR “Tyre* recycling”	46
2	“Rubber waste”	39
3	“Transfer Of Knowledge and Technology”	16
4	“Anthropotechnology”	10
5	"Isophthalic thermoset resin" OR "Isophthalic resin"	9
6	“Tire* recycling” OR “Tyre* recycling” AND “Rubber waste”	12
7	“Tire* recycling” OR “Tyre* recycling” AND “Transfer Of Knowledge and Technology”	0
8	“Tire* recycling” OR “Tyre* recycling” AND “Anthropotechnology”	0
9	“Tire* recycling” OR “Tyre* recycling” AND "Isophthalic thermoset resin" OR "Isophthalic resin"	0
10	“Rubber waste” AND “Transfer Of Knowledge and Technology”	0
11	“Rubber waste” AND “Anthropotechnology”	0
12	“Rubber waste” AND "Isophthalic thermoset resin" OR "Isophthalic resin"	0
13	“Transfer Of Knowledge and Technology” AND “Anthropotechnology”	0
14	“Transfer Of Knowledge and Technology” AND “Isophthalic thermoset resin” OR “isophthalic resin”	0
TOTAL		132

Fonte: Autoria própria

Para uma melhor visualização da pesquisa bibliográfica, pode-se observar a Figura 7, onde revela a quantidade dos artigos levantados e suas relações com os demais termos chaves, os quais são os principais norteadores deste estudo.

Figura 7 - Relação entre os termos chaves da pesquisa bibliográfica



Fonte: Autoria própria

3.1.1.1 Busca de patentes

Para a busca das patentes, foram realizadas buscas nos sítios de dados da *Lens* (2018), *Google Patents* (2018) e *Espacenet* (2018), pois possuem um banco de dados amplo e significativo, contendo as principais concessões de patentes a nível mundial, além de serem atualizadas.

Todos os bancos de dados de patentes foram pesquisados, utilizando-se a mesma palavra chave “*Tire recycling*”, no espaço temporal entre “05/2016 - 05/2018”, e houve revisão deste levantamento entre fevereiro e março de 2020, sendo verificada, exclusivamente, a situação da patente como: Concedida ou publicada.

No banco de dados do *Google Patents*, a combinação final resultou em 1412 patentes. Dessas, apenas 54 foram selecionadas conforme perfil do estudo, sendo seis sobre aspectos

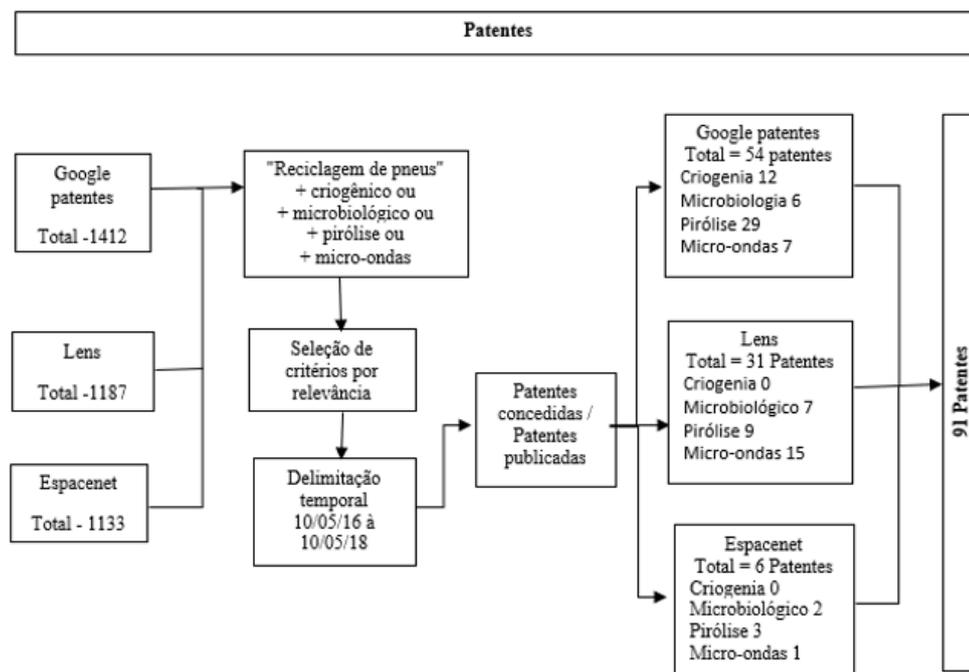
microbiológicos ou biológico; 29 pelo processo de pirólise; sete por micro-ondas; e, 12 por criogenia.

No banco de dados da *Lens* (2018), foram encontradas 1187 patentes, das quais, após análise final, 31 patentes foram selecionadas no status de publicadas e inéditas, sendo sete por processo microbiológico ou biológico; nove por pirólise; 15 micro-ondas; e, nenhum verificado pelo processo de criogenia. Havia 1156 patentes com duplicidade com os outros bancos de dados.

No banco de dados da *Espacenet*, obteve-se 1133 patentes citadas e apenas seis com foco neste estudo e não duplicadas nos outros bancos de dados. Dessas patentes encontradas, duas são do processo microbiológico ou biológico, três por pirólise, uma por micro-ondas e nenhuma por criogenia.

É possível observar, na Figura 8, os procedimentos de filtragem realizados nos bancos de dados, na busca por patentes, conforme perfil deste estudo.

Figura 8 - Procedimentos aplicados na busca das patentes



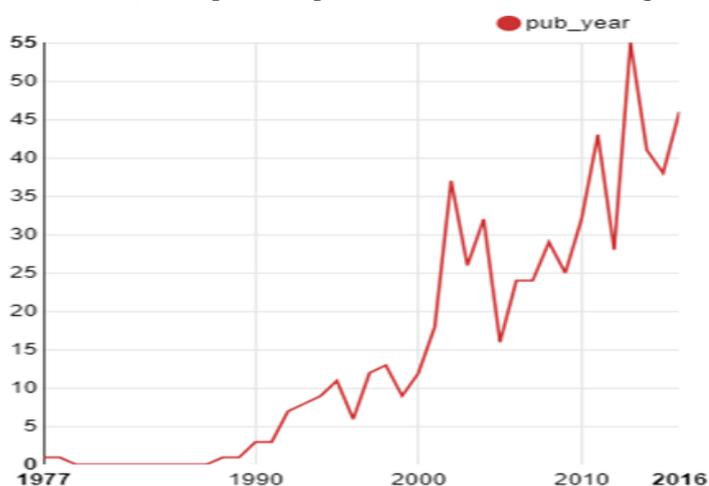
Fonte: Autoria própria

O portfólio final de patentes resultou em um total de 3732, sendo 1412 do banco de dados do *Google Patents*, 1187 da *Lens* e 1133 do banco de dados da *Espacenet*. Tais patentes foram analisadas individualmente e separadas nas classificações mais usuais de reciclagem de pneus conforme citadas anteriormente (pirólise, microondas, microbiológico e criogenia).

A patente garante o direito de propriedade ao inventor, com o tempo mínimo de 15 anos ou, no máximo, de 20 anos, dependendo se sua classificação é “Propriedade Industrial” ou “Modelo de Utilidade” (INPI, 2018). A patente só é reconhecida se for inédita. Observando as patentes geradas nos dois últimos anos, a respeito dos métodos utilizados para reciclagem de pneus, não há nada similar, tendo em vista que não há duplicidade de patentes (INPI, 2018) e o processo de pesquisas para reciclagem de Pneus em fim de vida são recentes na história, com seu início mais acentuado a partir do ano 2000.

No Gráfico 1 pode-se perceber que os índices de patentes sobre reciclagem de pneus tiveram início mais significativo em 1991; contudo, o volume mais expressivo veio nos anos 2000 com a preocupação mundial com os rejeitos de pneus.

Gráfico 1 - Publicação de patentes por ano, com foco em reciclagem de pneus



Fonte: Lens (2018)

Os índices de patentes na busca por meios de reciclagem de pneus mundiais só vêm aumentando desde então de forma significativa ao longo do tempo.

3.1.1.2 Busca sobre a legislação

O levantamento da legislação do Brasil sobre o tratamento, uso, reuso, reciclagem e a destinação dos pneumáticos foram feitos junto a órgãos governamentais, representantes de associações, representantes do comércio de pneus novos, usados e inservíveis. Também foram pesquisados representantes dos fabricantes na Europa para levantamento dos dados de produção a nível mundial e dos seus níveis de reciclagem via seus sítios da internet.

3.1.2 Preparação e Composição das Amostras

Bogdal *et al.* (2003) relatam que, com 2% de iniciador, a temperatura de cura da resina termofixa poliéster isoftálica é de 152°C, podendo atingir 160°C na temperatura exotérmica no processo de cura do polímero. Os componentes (resina poliéster isoftálica e resíduos de borracha tratada) foram misturados, obtendo-se corpos de prova para os ensaios mecânicos e para fazer os protótipos com adição de corante (entre 1% a 3%) no molde de placas de vidro com 200 × 200 mm.

Os corpos de provas foram confeccionados com: matriz polimérica termofixa em resina poliéster isoftálica; adição de resíduo de borrachas de pneus; uso de iniciador PMEK (catalisador) e de corante e/ou pedaços pequenos de metais retirados de pneus. Foram utilizados também: *becker*, espátula e/ou material decorativo como gliter.

Os resíduos de borracha de pneus têm origem, a partir de pneus inservíveis, e as normas utilizadas seguem *American Society for Testing and Materials* (ASTM). Os principais passos da pesquisa foram:

- a) Foram peneirados os resíduos de borrachas de pneus inservíveis, conforme norma ASTM D6913:2017, com granulometria entre 20 e 60 mesh, o que equivale a medida de malha entre 0,84mm à 0,250mm, e concentrações de carga nas amostras de 20%, 40% e 60%;
- b) Na resina termofixa poliéster isoftálica foram adicionados os pós peneirados, cada amostra com a sua concentração de carga (20%, 40% e 60%);
- c) Pode-se adicionar material decorativo, como partículas metálicas dos arames dos próprios Pneus em fim de vida, bem como o corante na concentração entre 1% a 3% do volume total;
- d) Foi adicionado o iniciador indicado pelo fabricante (PMEK), com concentração variando entre 5% até 10%. Gorniski (2002) relata que com 2% de iniciador a temperatura de cura da resina termofixa e poliéster isoftálica fica entre 152 °C à 160 °C, numa reação exotérmica;
- e) Faz-se a mistura dos itens para que haja homogeneidade total da composição. Importante é buscar evitar bolhas e entrada de ar na mistura;
- f) Vazou-se a mistura em moldes, conforme a peça que se deseja obter;

- g) Para se confeccionar os corpos de provas para os ensaios mecânicos, foram utilizados moldes metálicos, conforme formato e tamanho solicitado em normas ASTM;
- h) Para confeccionar os protótipos, foram usados moldes de placas de vidros tendo 200 mm x 200 mm e/ou 100 mm × 150 mm, e houve variação da quantidade de PMEK de 5% a 10%, conforme perfil das características superficiais desejadas.

O perfil da superfície deseja deve seguir observando os detalhes: quanto maior a quantidade de PMEK maior a temperatura e a formação de bolhas, se na adição tiver material decorativo com formato de “escamas” tem-se a superfície com aparência de “rugosidade negativa ou poros”, se o material decorativo tiver formato “alongado” ele poderá ficar na superfície inferior se a bolha não conseguir “carrega-lo” devido ao seu peso, ou ficará na superfície superior da peça se a bolha o ser formada o conduzir para junto.

Se a quantidade de PMEK além de interferir na característica da superfície, irá interferir no brilho ou opacidade do material.

Foram realizados os ensaios de resistência ao impacto Izod, dureza Shore D, determinação da densidade por imersão, ensaio de resistência à flexão, conforme as normas ASTM D256:2010, ASTM D2240:2015, ASTM D792:2013, ASTM D790:2010, respectivamente. Todos os ensaios foram realizados à temperatura de 23°C, com umidade de 50%.

3.1.3 Resíduos de Pneus em Fim de Vida

É proveniente de uma indústria recapadora de pneus, na cidade de Ponta Grossa, no Estado do Paraná, a qual doou os resíduos de borrachas de pneus inservíveis na forma de partículas para este projeto. Esta empresa vende a R\$ 0,01 o quilograma, para empresas cimenteiras da região de Curitiba, para constar em nota fiscal de transporte. Constantemente há visitação de fiscais do IBAMA, a fim de verificar o descarte correto desses pneus e seus resíduos.

3.1.4 Resina Poliéster Isoftálica

A mistura da resina com Pneus em fim de vida foi realizada, utilizando-se de uma espátula de silicone em um Becker. Essa resina é proveniente do distribuidor da Reichhold, no Paraná, que fica na cidade de Curitiba, a qual classifica a resina com alto grau de pureza, onde está resina é comercializada em galões de 5 litros, e foi adquirida com pelo nome comercial de resina poliéster isoftálica. Verificou-se que se tratava de uma resina nova, ou seja, com menos do que 30 dias da data de fabricação, portanto, possui boas condições de estabilidade química, conforme descrição do fabricante e destacado em rótulo do produto (RECHHOLD-RESIN, 2020). Junto à resina poliéster isoftálica, vem em quantidade proporcional, o PMEK.

3.1.5 Peneiramento dos Resíduos de Pneus em Fim de Vida

Após o peneiramento das partículas de borrachas, conforme norma ASTM D6913:2017, as partículas foram selecionadas com tamanhos entre 20 e +60 mesh. As partículas que passaram pela peneira de 60 mesh ficaram retidas no último prato, sendo especificadas como +60, e fizeram parte da pesquisa. O equipamento utilizado foi um Vibrotec CT 025, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), conforme pode ser observado na Figura 9.

Figura 9 - Equipamento para peneiramento Vibrotec CT 25 (UTFPR-PG)



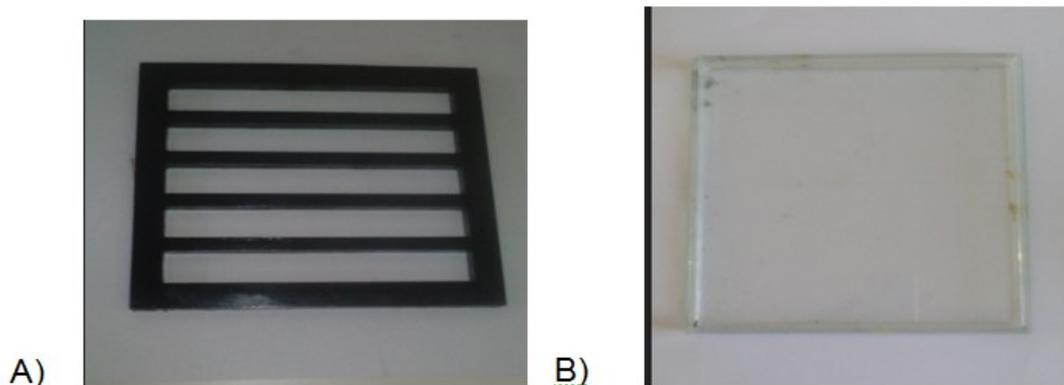
Fonte: Autoria própria

Nesse estudo, foi utilizado jogo de peneiras dispostas nos mesh: 14, 20, 24, 32, 48 e 60, mais o prato do fundo.

3.1.6 Moldes

Foram utilizados moldes para a confecção de amostras para ensaios de flexão, Figura 10(A), conforme norma ASTM D790:2010. Os moldes para a confecção de protótipos foram confeccionados em vidro, ver Figura 10(B) e, comprados junto a uma vidraçaria na cidade de Ponta Grossa, Pr. Esses protótipos foram feitos no formato de placas, para demonstrar possíveis aplicabilidades.

Figura 10 - Moldes para confecção de corpos de provas para realização do ensaio de resistência a flexão (A); e molde de vidro de 200 mm x 200 mm para confecção do protótipo (B).



Fonte: Autoria própria

3.2 ENSAIOS MECÂNICOS

3.2.1 Resistência ao Impacto Izod

Esse método de teste é usado em materiais plásticos, objetivando determinar sua resistência ao choque de um pêndulo padronizado, de acordo com a norma ASTM D256-2010, durante o impacto. O entalhe serve para concentrar as tensões envolvidas e agir como um ponto central para a ruptura do material. Ao liberar o pêndulo, ele adquire uma energia em queda, onde parte dele é absorvido pelo material polimérico que é entalhado durante o impacto. O entalhe serve para concentrar as tensões envolvidas e para atuar como um centro. O pêndulo deve ter um movimento de 180 ° para se mover livremente. No entanto, quando há um choque com um corpo de prova, a absorção de energia é medida pelo equipamento, denotando sua perda pela diferença da altura final resultante, que não completará os 180 °.

As condições para o teste de impacto obedeceram ao padrão técnico conforme a norma ASTM específica para o ensaio de resistência ao impacto Izod (ASTM D256:2010). O equipamento utilizado foi o *Philpolymer* da Nova Zelândia, modelo XJC - 25D e pêndulo de 1 J. Apenas foram consideradas amostras de peças com quebra completa, classificadas em uma categoria do tipo C. Conforme estabelecido pela norma técnica; dez corpos foram usados para evidenciar os resultados. Todas as amostras com uma seção quadrada de 12,7mm (largura) e 63,5mm (comprimento), seguindo norma.

3.2.2 Dureza Shore D

Este teste é indicado para materiais termoplásticos e / ou elastômeros vulcanizados como termofixos. O Sistema Internacional (SI) de medidas é considerado neste teste. O durômetro Maynard M-701 DG, que mede a resistência dos corpos de prova ao indentador do tipo penetrador D, foi aplicado com um ângulo entre 30 ° e 35 °, pressionado contra a peça de amostra pela ação de uma mola sob carga padrão, com um tempo de aplicação da carga de 15s. O provete da amostra tem 6 mm de espessura, com dimensões laterais suficientes para permitir medições de pelo menos 12,0 mm de cada borda. As condições de teste de dureza estão descritas na ASTM D2240-2015. O padrão citado neste teste requer, no mínimo, cinco amostras para obter uma média do teste.

3.2.3 Determinação da Densidade dos Corpos de Testes por Imersão

Densidade é a razão entre a amostra de massa e o volume ocupado por imersão, em uma dada condição ambiental. Essa densidade foi determinada utilizando-se a equação (3).

$$d = (m / v) \quad (3)$$

onde:

d = densidade;

m = massa;

v = volume.

As condições de teste seguiram o padrão técnico da norma ASTM D792:2013; tendo como fluido de imersão álcool etílico, cuja densidade é de 0,8020 g / cm³. O padrão para este ensaio requer que haja pelo menos a média de três leituras.

3.2.4 Determinação da resistência à flexão

Uma célula de carga de 5 KN de forma constante, de acordo com a norma ASTM D790-2010; com velocidade de teste de 2 mm/min, e o equipamento Instron Emic, modelo 23-30, foi aplicado aos corpos de teste em três pontos. No total três amostras foram testadas.

O cálculo é realizado de acordo com a espessura do provete por meio da equação (4).

$$\sigma = [(3 \times P \times L) / (2 \times b \times d^2)] \quad (4)$$

onde:

σ = tensão na flexão (MPa);

P = carga ou força aplicada (N);

L = distância entre dois suportes fixos (mm);

d = espessura média das amostras utilizadas em mm;

b = largura da amostra em mm.

Figura 11 - Equipamento para o ensaio de resistência à flexão em material polimérico



Fonte: Autoria própria

Esse teste abrange a determinação da resistência à flexão de materiais poliméricos com ou sem reforço, conforme Figura 11, e pode ser aplicado em materiais rígidos ou semi-rígidos. No entanto, esse teste só pode ser usado em materiais que se rompem ou exibem uma falha na superfície durante o teste. Os procedimentos adotados seguiram o padrão do Sistema Internacional (SI).

3.2.5 Ensaio de Resistência à Compressão

É utilizado para obter dados de propriedades sob compressão de materiais plásticos para controle e especificação. As condições do ensaio de compressão foram aplicadas conforme a norma ASTM D695:2015 - “*Standard Test Method for Compressive Properties of Rigid Plastics*”, com temperatura ambiente de 23°C, umidade local de 50%, célula de carga de 5N, e velocidade de ensaio de 1,3 mm/min. Foi utilizado o equipamento Instron EMIC, modelo 23-30.

3.2.6 Temperatura de Amolecimento Vicat

A temperatura de amolecimento Vicat é a temperatura na qual uma agulha de ponta plana de seção transversal circular de 1,0 mm que penetra 1,0 mm de profundidade no corpo de prova, e para tal é utilizada uma carga e taxa de aquecimento com valores específicos. Os corpos de prova devem possuir uma área mínima de 10,0 mm x 10,0 mm, e espessura compreendida entre 3,0 e 6,5 mm, respeitando a norma ASTM D1525:2009, o qual tem taxa de aquecimento de 50°C ± 5°C/h, com carga de 50 ± 1,0 N, em meio de óleo de silicone, sendo utilizado o equipamento CEAST, modelo HDT 6 VICAT 6921.

3.2.7 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

Foram utilizados dois equipamentos, sendo um da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), modelo FEI Inspect S 50. O modelo Vega3 TeScan é pertencente a Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Neste teste, a adesão de resíduos de borracha de pneus (Pneus em fim de vida) à matriz polimérica, especialmente sua inferência (matriz/pneus em fim de vida), foi investigada nos corpos de prova rompidos pelos testes de resistência ao impacto.

As amostras investigadas foram as que foram rompidas no teste de resistência ao impacto IZOD. As superfícies rompidas analisadas foram submetidas ao processo de metalização com ouro a 25 KV e 60 s de exposição, com a distância do canhão do feixe de elétrons da amostra de 15mm, facilitando a visualização do MEV em diferentes aumentos oculares.

3.2.8 Ensaio de Resistência à Deflexão Térmica (HDT)

Esse ensaio consiste em submeter uma barra de seção transversal retangular (corpo de prova) a um esforço de flexão sob três pontos, sendo dois pontos de apoio e uma carga no centro (Figura 12).

Figura 12 - Equipamento para realização do ensaio de resistência à deflexão térmica



Fonte: Afinko (2020)

O ensaio foi realizado seguindo a norma ASTM D648:2016 - “*Standard Test Method for Deflection Temperature of Plastics Under Flexural Load in the Edge wise Position*”. A carga utilizada foi de 1,82 MPa, com taxa de aquecimento utilizada de $2,0 \pm 0,2^{\circ}\text{C}/\text{min}$. Equipamento utilizado: CEAST, modelo HDT 6 VICAT P/N 6921.

4 ESTUDO EXPERIMENTAL

4.1 Resultados e Discussões

Os resultados dos testes realizados apresentam, as propriedades mecânicas da composição com três diferentes concentrações de resíduos de pneus inservíveis, em concentração de Pneus em fim de vida em 20%, 40% e 60%, em todos os ensaios realizados. Houve uma comparação entre os valores adquiridos durante os ensaios, e os resultados fornecidas pela empresa fabricante da resina sem adição de carga, Rechhold do Brasil S/A (RECHHOLD-RESIN, 2018; RECHHOLD-RESIN, 2020), e o trabalho de Davallo, Pasdar e Mohseni (2010), o qual também apresenta resultados de ensaios mecânicos sem adição de outros componentes na resina.

4.1.1 Resistência ao Impacto Izod

Foram avaliados dez corpos de provas para cada composição com adição de Pneus em fim de vida de 20%, 40% e 60%. Na Tabela 1, abaixo, observam-se os resultados da resistência ao impacto e energia absorvida em função da concentração de carga de partículas utilizada.

Tabela 1 - Resultado do ensaio de resistência ao Impacto Izod, com cargas de 20%, 40% e 60% de adição de Pneus em fim de vida

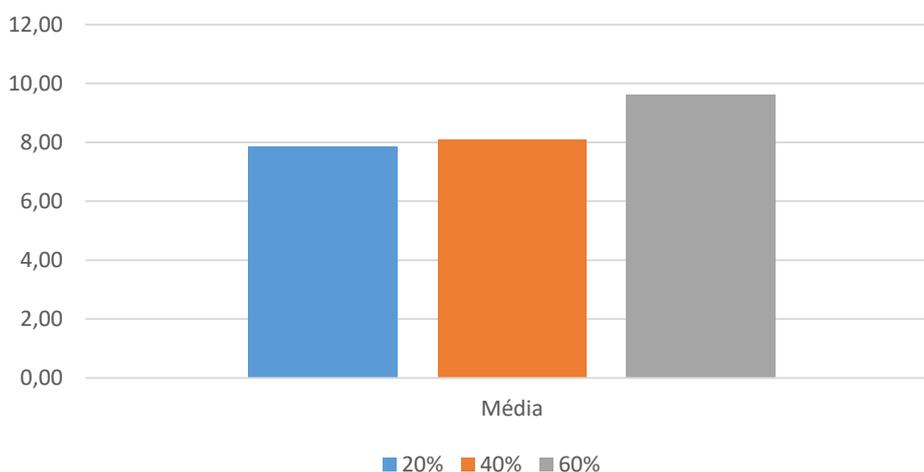
Corpo de Prova	Energia Absorvida (J)			Resistência ao Impacto (J/m)			Resistência ao Impacto (KJ/m ²)		
	20%	40%	60%	20%	40%	60%	20%	40%	60%
1	0,047	0,059	0,066	9,23	7,73	9,99	0,9	0,76	0,98
2	0,034	0,058	0,063	6,93	7,42	9,42	0,68	0,73	0,92
3	0,044	0,059	0,056	8,78	7,39	9,24	0,86	0,72	0,97
4	0,034	0,059	0,058	6,96	7,26	9,24	0,69	0,72	0,94
5	0,033	0,052	0,06	6,69	8,02	9,52	0,66	0,80	0,95
6	0,041	0,061	0,064	8,26	9,14	10,20	0,82	0,93	1,02
7	0,036	0,066	0,057	7,46	9,21	9,00	0,72	0,95	0,90
8	0,099	0,064	0,058	9,83	8,09	9,20	0,98	0,82	0,92
9	0,032	0,065	0,071	6,52	8,25	10,36	0,65	0,82	1,04
10	0,040	0,060	0,064	7,85	8,45	9,96	0,78	0,84	1,00
Média	0,044	0,060	0,062	7,85	8,10	9,61	0,77	0,81	0,96
Variância	0,000	0,000	0,000	1,176	0,427	0,204	0,012	0,006	0,002
Desvio Padrão	0,000	0,000	0,000	1,084	0,653	0,451	0,109	0,078	0,044

Fonte: Autoria própria

Analisando os resultados na Tabela 1 e do Gráfico 2, verifica-se que a média da resistência ao impacto tem um acréscimo conforme ocorre o aumento da quantidade de partículas de pneus. Todos os corpos de provas tiveram fratura do tipo C, ou seja, rompimento completo durante o ensaio realizado.

Amostras com 60% de Pneus em fim de vida, apresentaram o maior valor, com 0,97 KJ/m², bem como há o maior nível de energia absorvida cerca de 0,062 J, e a resistência ao impacto registrado é de 9,61 J/m. Nota-se que com a quantidade de 20% e 40% de Pneus em fim de vida, houve valores inferiores aos ensaios realizados com 60%.

Gráfico 2 - Resultado das médias do ensaio de Resistência ao Impacto (J/m)



Fonte: Autoria própria

Pode-se comparar os resultados da Tabela 1, com os fornecidos pela resina com 0% de carga, a qual tem valor de 1,4 KJ/m² (RECHHOLD-RESIN, 2018). Amostras ensaiadas com 0% de ELTs, indicaram leitura de 1,26 KJ/m². A concentração de 60% de ELT é menor do que a indicada pelo fabricante, provavelmente, por haver vazios e a presença de bolhas de ar na matriz, originárias do processo de cura da resina poliéster isoftálica (LEE *et al.*,1992).

4.1.2 Dureza Shore D

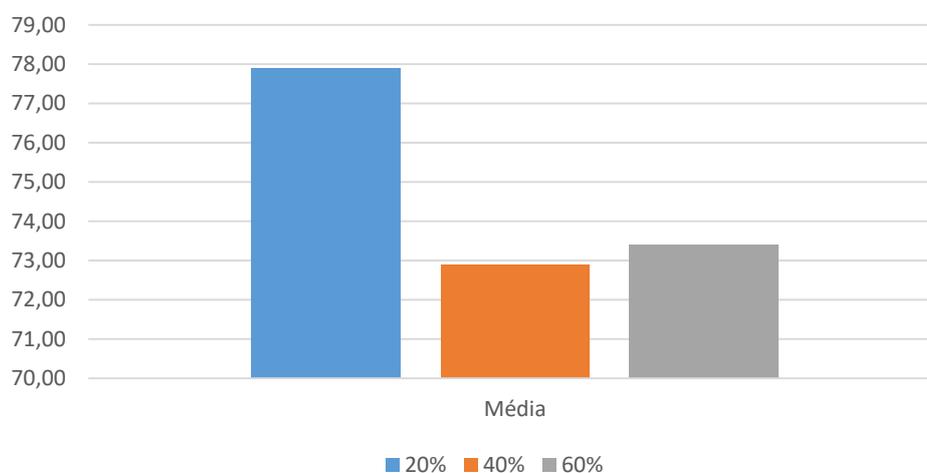
O ensaio foi realizado com cinco corpos de provas em cada uma das três quantidades de adição de resíduos de borrachas de pneus. A Tabela 2 apresenta os resultados do ensaio de resistência à dureza Shore D.

Tabela 2 - Resultados do ensaio de dureza Shore D

Amostra	Medidas					Média	Variância	Desvio Padrão
	1	2	3	4	5			
20%	77,50	77,00	80,50	76,50	78,00	77,90	2	1,42
40%	76,00	73,00	68,00	73,00	74,50	72,90	7	2,64
60%	75,50	76,00	74,50	70,50	70,50	73,40	6	2,44

Fonte: Autoria própria

A dureza Shore D com 0% de adição de resíduos de ELT é de 80 Shore D, conforme indicação do fabricante (RECHHOLD-RESIN, 2018), sendo que os ensaios realizados com amostras contendo concentração de 0% de carga, indicou leitura de 80,4. A maior concentração de ELT com 60% obteve um resultado similar à dureza com 40% de carga, e apresentam uma dureza inferior do que apresentado nas amostras com 20% de carga. No Gráfico 3, segue o resultado das leituras das médias das durezas Shore D.

Gráfico 3 - Médias das durezas Shore D

Fonte: Autoria própria

Quanto maior a presença de borrachas de pneus, maior a presença de vazios na matriz polimérica, devido a bolhas de ar que podem surgir durante o processo de cura da resina poliéster isoftálica. Um outro aspecto analisado, é que a presença de Pneus em fim de vida consegue absorver parte do esforço depositado na matriz polimérica, devido a sua estrutura química. Esta reação química promove determinada coesão de parte da sua superfície com a matriz que a envolve (ver no capítulo sobre Interação química).

4.1.3 Determinação da Densidade dos Corpos de Testes por Imersão

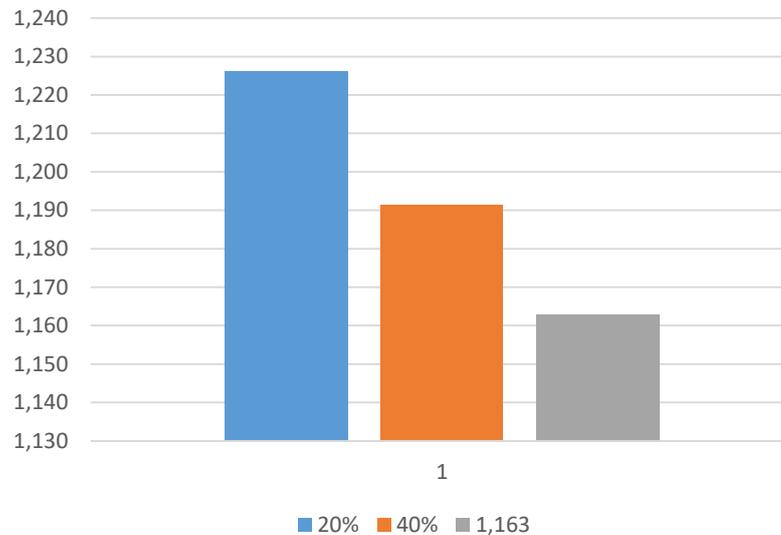
Verifica-se que os valores médios da densidade são próximos, considerando uma amostra ensaiada com a outra. Pode-se perceber que houve três leituras da densidade para cada quantidade de adição de resíduo de borrachas de pneus, sendo estabelecida a média das densidades para fim de análise em g/cm^3 .

Tabela 3 - Resultados da densidade por imersão

Amostras	Densidade por imersão (g/cm^3)		
	20%	40%	60%
1	1,229	1,191	1,184
2	1,220	1,191	1,171
3	1,229	1,192	1,133
Média	1,226	1,191	1,163
Variância	1,8E-05	2E-07	5E-04
Desvio Padrão	0,0042	0,0004	0,022

Fonte: Autoria própria

A densidade realizada com amostras sem carga de adição foi de $1,480 \text{ g/cm}^3$ onde a densidade indicada pelo fabricante é de $1,600 \text{ g/cm}^3$ (RECHHOLD-RESIN, 2018). Com a análise dos resultados da Tabela 3, pode-se perceber que quanto maior a presença de Pneus em fim de vida, menor é a densidade. Seguindo uma relação coerente e lógica da proporção de Pneus em fim de vida com a matriz de resina poliéster isoftálica.

Gráfico 4 - Médias da densidade por imersão (g/cm³)

Fonte: Autoria própria

O Gráfico 4, destaca que a diferença da densidade entre as amostras é pequena; contudo, estas amostras indicaram uma baixa densidade, e a proporção de carga de borracha de pneus gera uma redução da densidade de forma linear.

4.1.4 Determinação a Resistência à Flexão

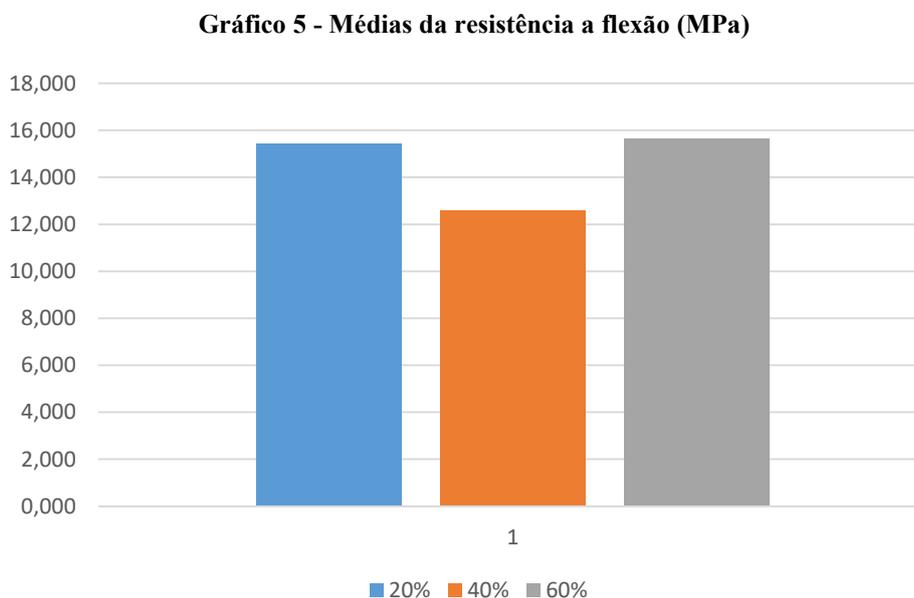
A resistência a flexão tem sua maior média em 15,63 MPa, com 60% de Pneus em fim de vida, e 15,45 MPa com 20% de pneus em fim de vida, enquanto com 40% na quantidade de resíduos de pneus obteve-se 12,59 MPa.

Tabela 4 - Resultado do ensaio de resistência a flexão

Corpo de Prova	Resistência a Flexão (MPa)			Módulo de Elasticidade (GPa)		
	20%	40%	60%	20%	40%	60%
1	16,15	10,83	14,41	1,59	0,61	1,12
2	15,95	15,32	15,08	1,42	1,17	1,31
3	14,26	11,63	17,4	1,54	0,66	1,15
Média	15,453	12,593	15,630	1,517	0,813	1,193
Variância	0,7187	3,8240	1,6413	0,0051	0,0640	0,0070
Desvio Padrão	0,8477	1,9555	1,2811	0,0714	0,2529	0,2645

Fonte: Autoria própria

Os valores médios da resistência a flexão em MPa, estão indicados no Gráfico 5, onde se pode observar a variação da resistência com a concentração de carga de ELTs nas amostras ensaiadas.



Fonte: Autoria própria

Amostras confeccionadas com 0% de carga de Pneus em fim de vida e ensaiadas, registraram 24,90 MPa. Isto, pode ser explicado por que a resina poliéster isoftálico está em estado “puro”, ou seja, só a resina presente, sem adição de “carga”, onde não há adição ou entrada de ar no processo, e havendo ligações catalisadoras completas na estrutura química.

4.1.5 Ensaio de resistência à compressão

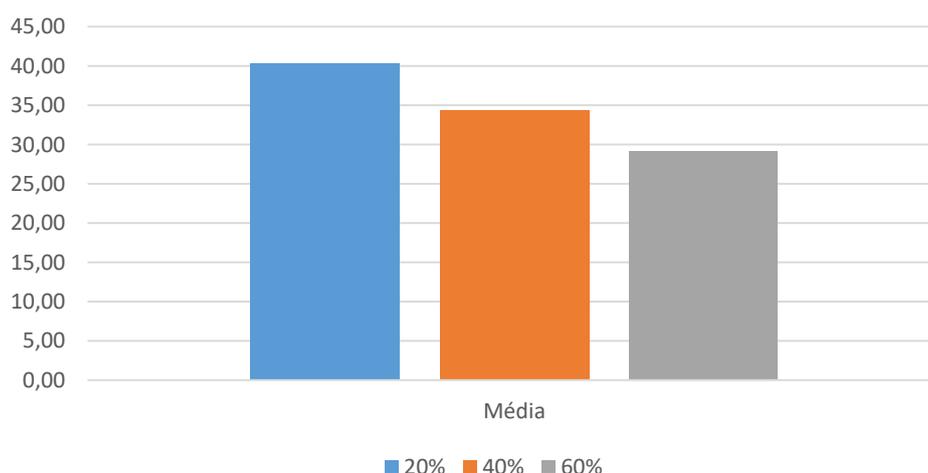
A Tabela 5, apresenta os resultados de propriedades mecânicas da resistência a compressão das amostras analisadas. A nomenclatura usada para facilitar o reconhecimento das amostras de Pneus em fim de vida, é conforme a quantidade de carga contida nas mesmas; como 20%, 40% e 60%, consecutivamente.

Tabela 5 - Resultados dos ensaios de resistência à compressão em amostras de Pneus em fim de vida

Corpo de Prova	Carga Máxima (N)			Def. Compressão Carga Máxima			Tensão Máxima (MPa)		
	20%	40%	60%	20%	40%	60%	20%	40%	60%
1	2218,12	4335,16	2448,87	4,40	20,71	13,98	41,18	47,51	34,47
2	3164,23	2403,25	2339,09	5,81	3,56	13,38	55,80	25,50	32,70
3	2213,16	2436,92	2247,27	7,21	6,97	9,18	41,46	29,74	32,01
4	1955,95	2962,08	1761,08	4,54	22,14	9,68	36,15	33,84	24,79
5	1470,60	2962,51	1568,35	5,02	21,11	11,21	27,09	34,91	22,08
Média	2204,41	3019,98	2072,93	5,40	14,90	11,49	40,34	34,30	29,21
Variância	304345,69	491333,70	118883,57	1,07	63,24	3,69	86,82	54,66	23,61
Desvio Padrão	551,67	700,95	344,79	1,03	7,95	1,92	9,31	7,39	4,85

Fonte: Autoria própria

Na interpretação dos dados coletados pelo ensaio de resistência à compressão, e registrados na Tabela 5, nota-se que tanto a carga máxima, como a deformação à compressão tem seu melhor resultado com carga de 40% de Pneus em fim de vida, e a tensão máxima suportada nas amostras com 20% de carga. Contudo, a média das amostras com 60% de carga na tensão máxima obteve seu menor resultado. Isto se deve ao fato de a concentração da carga de Pneus em fim de vida ser maior do que a da resina poliéster isoftálica, vindo a borracha de pneus não apresentar elevada resistência a compressão.

Gráfico 6 - Médias da resistência a compressão na tensão máxima (MPa)

Fonte: Autoria própria

Pode-se afirmar então, que o equilíbrio entre a concentração da matriz e de Pneus em fim de vida ocorre justamente na concentração intermediária de carga (40%). A média de cinco corpos de provas sendo ensaiados indicando carga máxima de 2989,56 N. Deformação a

compressão de 14,90%, e a tensão média de 34,30 MPa, para uma carga de 40% de Pneus em fim de vida. O Gráfico 6 auxilia na compreensão dos dados mostrando as proporções das médias.

4.1.6 Temperatura de Amolecimento Vicat

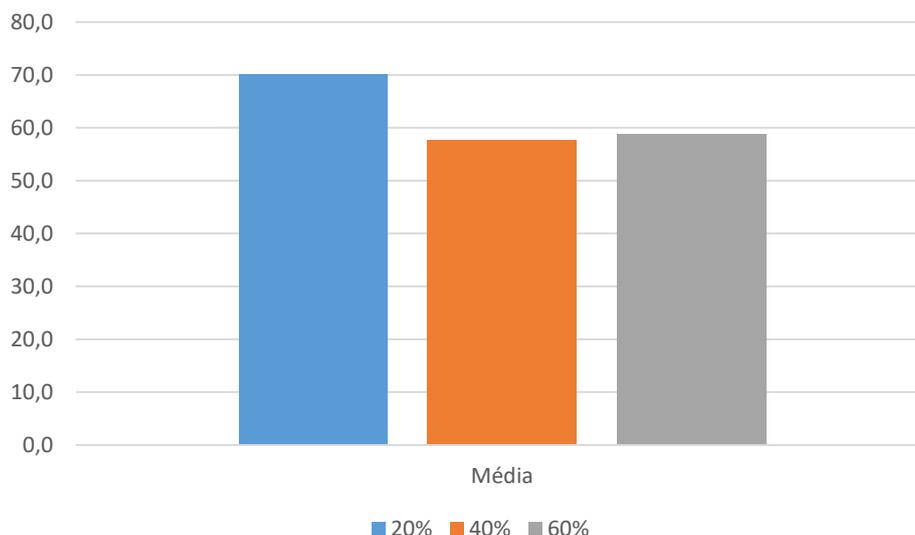
Os resultados do ensaio de temperatura de amolecimento Vicat das amostras consistem na ação de penetração de uma agulha até a profundidade de 1 mm. Esta agulha deve ter ponta plana numa seção transversal circular de 1 mm e o corpo de prova deve ser conhecido. A Tabela 6 apresenta os resultados do ensaio de temperatura Vicat para amostras com 20%, 40% e 60% de Pneus em fim de vida.

Tabela 6 - Resultado do ensaio de temperatura de amolecimento Vicat, com 20%, 40% e 60% de pneus em fim de vida

Concentração de ELTs	Amostras		Média °C	Variância	Desvio Padrão
	1	2			
20%	69,5	70,5	70,0	0,3	0,5
40%	57,9	57,4	57,6	0,1	0,3
60%	58,9	59,1	58,8	0,1	0,3

Fonte: Autoria própria

Foi detectado que o amolecimento das amostras; tiveram seu melhor resultado com 20% de carga de borracha de pneu inservíveis, chegando a temperatura média de 70°C. As demais amostras de 40% e 60% de carga de Pneus em fim de vida obtiveram resultados para amolecimento respectivamente de 57,6°C e 58,8°C.

Gráfico 7 - Médias do resultado do ensaio de temperatura de amolecimento Vicat

Fonte: Autoria própria

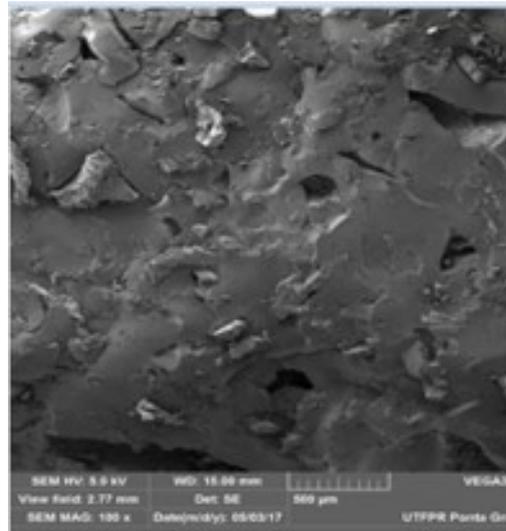
Analisando o melhor resultado pelo Gráfico 7, verifica-se que o mesmo é resultado da ação da matriz polimérica ser um termofixos, sendo que quanto maior a porcentagem de Pneus em fim de vida na mistura, maior será o escoamento dos mesmos na matriz, pois quanto maior a temperatura, maior será a agitação térmica e possível retirada de ar da interface matriz/Pneus em fim de vida. Neste mesmo linear do raciocínio, verifica-se que a maior porcentagem de partículas de pneus na mistura, vem a favorecer o amolecimento, já que a ação da borracha na composição vem absorver a ação da agulha do equipamento.

4.1.7 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

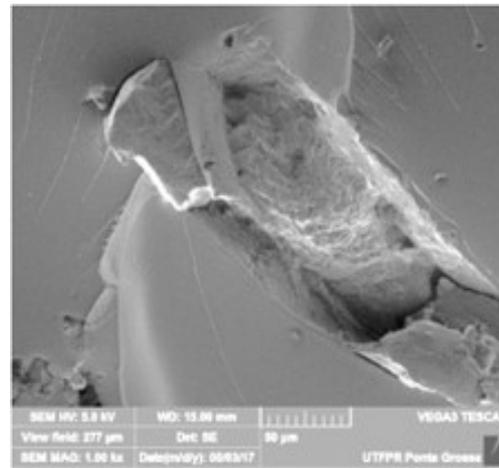
Na Figura 13A, há uma partícula de pneu, sendo que uma parcela desta partícula se encontra adicionada a matriz. Isto devido a uma provável aderência entre a borracha das partículas de pneus e à matriz isoftálica, enquanto existe região desta mesma partícula em que há um vazio entre a partícula e a matriz, devido à falta de coesão completa das suas interfaces.

Figura 13 - MEV: Amostras com 60% de Pneus em fim de vida

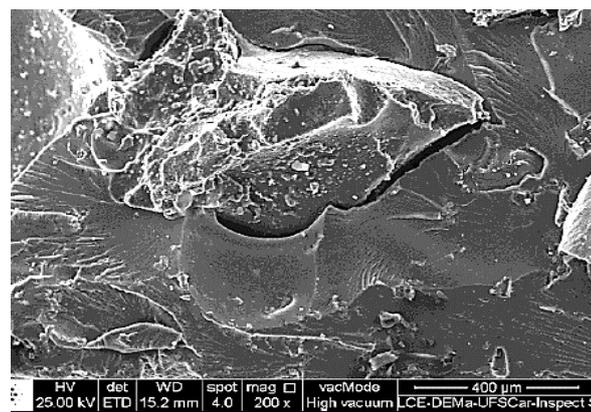
A)



B)



C)



Fonte: A) UTFPR (2017), B) UFSCar (2017), C) UTFPR (2017)

A microscopia eletrônica de varredura foi utilizada na UTFPR com 5 Kv enquanto que os ensaios realizados na UFSCar, utilizaram 25 Kv. Todas as amostras são provenientes do ensaio de resistência a flexão.

A Figura 13A, registra aumento de 100X, mostrando as partículas de Pneu em fim de vida, em meio à matriz da resina poliéster isoftálica, num panorama geral. A Figura 13B, com 100 X de aumento, evidencia uma partícula de Pneu em fim de vida incrustada na matriz, revelando regiões de interação química entre matriz e a borracha de resíduo de pneu. Na Figura 13C a partícula de borracha fica visível no interior da matriz, sendo notório a região em que há adsorção entre as interfaces. Isto se deve à temperatura promovida durante a cura da resina poliéster isoftálica (152 °C) com iniciador, atingido a temperatura da vulcanização da borracha. Tal processo não ocorre em toda interface (borracha/matriz) por causa da cura da matriz ocorrer de maneira muito rápida, diante do tempo necessário para promover o processo de vulcanização, havendo apenas maior interação química e, com ela maior adsorção entre as interfaces envolvidas por reação química comprovada no capítulo “Interação Química”. Lembrando que segundo Lee, Rockett e Hoffman (1992), a falta de adsorção entre particular e matriz também pode ser ocasionada pela presença da umidade local e de oxigênio, que não foi expulso do meio durante o processo de reação exotérmica.

4.1.8 Ensaio de Resistência à Deflexão Térmica (HDT)

O HDT é um ensaio efetivo para materiais poliméricos, o qual indica o comportamento do material em diferentes temperaturas. Isso poderá revelar uma faixa de temperatura de melhor desempenho do polímero para sua aplicação ou utilização. Uma relevante informação pode ser analisada nesse ensaio, pois se pode obter a temperatura máxima de trabalho, bem como a temperatura mínima. Assim, a caracterização se torna mais eficiente e eficaz com tais informações, favorecendo a seleção dos materiais.

Ressalta-se que a HDT determina a resistência do material em apenas uma temperatura, a que seja efetivamente realizada no ensaio.

Os resultados foram obtidos utilizando de duas amostras com três ensaios, conforme Tabela 7.

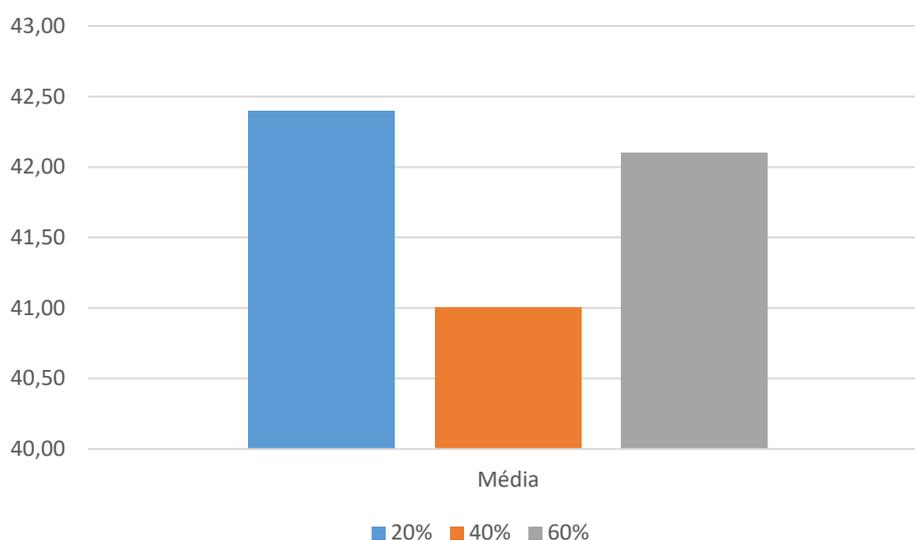
Tabela 7 - Resultado do ensaio HDT (°C)

Carga ELTs	Media 1	Medida 2	Média °C	Variância	Desvio Padrão
20%	43,60	41,30	42,40	1,33	1,15
40%	40,30	41,60	41,00	0,43	0,65
60%	43,40	40,80	42,10	1,69	1,30

Fonte: Autoria própria

Os resultados com 20%, 40% e 60% de cargas de borrachas de Pneus inservíveis dispersos na matriz polimérica de termofixo, mostram por meio das médias, que todos os valores estão próximos, sendo os valores de 42,4°C para amostras com 20% de carga, 41,0°C na concentração de 40% de carga, e na amostra de 60% de carga a média das amostras são de 42,1°C. Não houve, portanto, grande interferência nas amostras para diferentes concentrações de cargas, com isto a deflexão foi semelhante indiferente da carga de Pneus em fim de vida, tendo seu valor médio em 41,3°C.

Gráfico 8 - Médias dos resultados do ensaio HDT (°C)



Fonte: Autoria própria

No Gráfico 7, nota-se que a média das amostras com 20% de carga de borracha de pneus é 42,20 °C, enquanto as amostras com 40% apresentaram HDT de 41°C, e a amostra com 60% de carga obteve um HDT de 42,10°C.

Em resumo, tem-se que a resistência ao impacto é maior quanto maior a quantidade de Pneus em fim de vida. No que tange à dureza, quanto maior a concentração desses pneus, menor será a dureza, sendo a menor dureza verificada com 60% de Pneus em fim de vida. A densidade foi reduzida conforme se aumentou a concentração de resíduos de pneus, tendo a menor densidade com 60% de carga de borrachas de pneus inservíveis. A densidade foi reduzida conforme se aumentou a concentração da carga, tendo a menor densidade com 60% de carga de borrachas de pneus inservíveis. Na resistência a flexão houve a verificação que, com 60% de carga de Pneus em fim de vida, houve a melhor resposta a carga de ensaio.

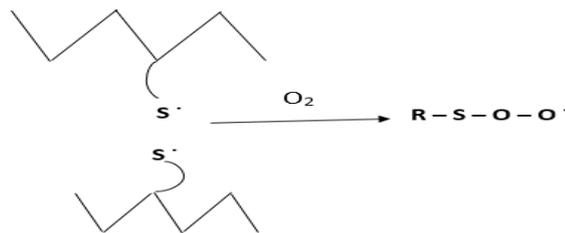
No entanto, ao observar a resistência a compressão, há uma maior concentração de carga de borrachas de pneus, que contribui para reduzir a resistência a compressão. O MEV revelou que há uma possível interação química entre os resíduos de borrachas de pneus e a resina poliéster isoftálico. No ensaio de deflexão térmica (HDT) houve similaridade entre os resultados indiferentes das cargas concentradas nas amostras. Enquanto que o nível de amolecimento ocorre com maior intensidade quanto maior a presença de partículas de Pneus em fim de vida.

4.2 INTERAÇÃO QUÍMICA

Nesse tópico se descreve uma possível reação química de aberta dos radicais livres da borracha de pneus e a interação química com a resina Isoftálica. Indicando fundamentação teórica com outros trabalhos de pesquisa, fundamentando o princípio de que esse estudo comprova a possibilidade de reação entre matriz (resina) e carga (borracha de pneus inservíveis)

Quando o pneu é preparado para o processo de recauchutagem ou remoldagem, existem partículas de tamanhos diferentes originadas no processo de raspagem da SBR (BANDAG, 2018). Observa-se que este SBR é vulcanizado e, quando raspado, a reticulação é rompida. Há o desengajamento da partícula SBR, que imediatamente sofre ação do oxigênio (O_2) presente no meio (Figura 14), confirmando a ruptura no enxofre presente na cadeia cruzada pelo processo de vulcanização (SALEH *et al.*, 2018; RAJAN *et al.*, 2006).

Figura 14 - Abertura da reticulação de enxofre e a ação do oxigênio do meio ambiente



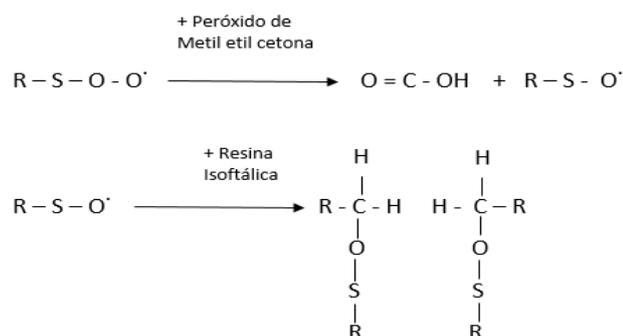
Fonte: Autoria própria

Neste radical livre de oxigênio ($O\cdot$), pode-se ter a reação ocorrendo com a adição ($R-S-O-O-R$) de outro radical livre da borracha SBR.

Outro processo de ligação química é com a adição de PMEK interagindo com $R-S-O-O\cdot$, da cadeia carbônica de SBR; tendo a formação de um ácido carboxílico ($O = C-OH$) + $R-S-O\cdot$. Essa oxidação promove a radicalização e o processo de reação química (DAVALLO;

PASDAR; MOHSENI, 2010; SALEH, 2018). Pode-se observar que em ambos os casos de reações descritas existem radicais livres, o que acelerará o processo da reação, levando a uma reação exotérmica muito intensa. O radical livre (R-S-O[·]) em contato com a resina de poliéster isoftálico tende a promover uma reação radicalar (Figura 15).

Figura 15 - Reação do radical livre de SBR com PMEK e resina poliéster isoftálica



Fonte: Autoria própria

O PMEK em contato com a partícula SBR oxidada irá remover o oxigênio. A reação é entre o radical do peróxido (PMEK) com a resina isoftálica, promovendo a quebra da ligação dupla entre C = C.

As Figuras 13, 14 e 15 demonstram que existiu interação química, e a reação promove a adsorção dos Pneus em fim de vida com a resina poliéster Isoftálica, e justamente essa reação descrita acima é uma fundamentação calculada nesse trabalho de pesquisa para comprovar que existe a possibilidade da interação entre Matriz e a borracha de Pneus em fim de vida.

Na literatura, pode-se citar Davallo, Pasdar e Mohseni (2010), que estudaram as seguintes misturas: (a) resina de poliéster insaturada adicionada ao epóxi; e (b) a mistura de resina de poliéster isoftálica adicionada ao poliestireno. Os autores fazem comparações dos testes de compressão e flexão.

Rajan *et al.* (2006) usou 15% de resíduos de borracha adicionados na base de hidrocarbonetos. Esses autores realizaram a análise do processo de vulcanização da borracha nesse processo. O estudo não revela a realização de nenhum ensaio mecânico, mas apresenta o processo químico. Observando pela ótica do processo oxidativo, a presença de radicais livres e as ligações químicas vêm comprovar a similaridade da reação química, com o princípio desta pesquisa. Seu processo mostra a quebra da cadeia de borracha vulcanizada. Esse processo deixa um radical positivo e torna o outro radical negativo na ligação de borracha. Esses radicais, por sua vez, sofrem oxidação como resultado do próprio ambiente, com uma estabilização química.

No entanto, os parâmetros utilizados nos testes pelos dois autores são diferentes dos parâmetros propostos nesta pesquisa. Portanto, não foi possível estabelecer uma comparação completa e confiável entre os dois artigos e esta pesquisa.

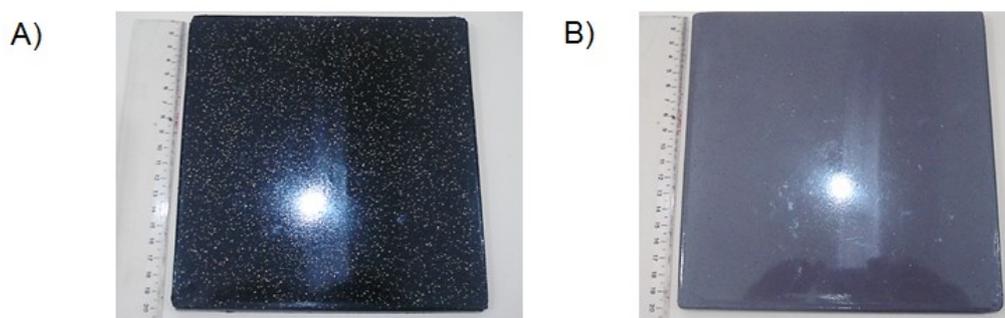
Outras considerações são sobre o processo de reação química e, posteriormente, sua secagem: Bogdal *et al.* (2003) relatam que, com a presença de 2% de iniciador, a temperatura da cura na resina de poliéster isoftálico atinge entre 152 °C e 160 °C na temperatura exotérmica. Para a prototipagem de nossas amostras, foram utilizados 5% a 10% de iniciador (PMEK).

Outra consideração é que o material com a maior quantidade de adição do indicador (10%) promoveu uma reação exotérmica muito rápida, com retirada abrupta de oxigênio do interior, tendo a formação de bolhas de O₂, que estoura na superfície, gerando uma alta rugosidade superficial. Com adição de 5% do iniciador, o processo de polimerização da resina é mais lento que o processo descrito anterior; no entanto, há a formação de uma superfície texturizada mais suave.

4.3 ANÁLISE VISUAL

Com os resultados dos ensaios mecânicos, é possível visualizar como aplicação, a confecção de placas para protótipos e após uma análise visual das suas características superficiais. Nas placas da Figura 16, fica visível a possibilidade da confecção com brilho e com o uso de diferentes cores, como a cor cinza utilizada no protótipo. Na Figura 16A, foram adicionadas partículas de arame oriundo do processo de trituração da carcaça de pneus, dando um aspecto superficial diferenciado ao acabamento do produto.

Figura 16 - Placas de 200 mm x 200 mm, com 60% de pneus em fim de vida, superfície lisa e com brilho: A) Placa na cor preto com partículas de arames de pneu, B) placa na cor cinza.

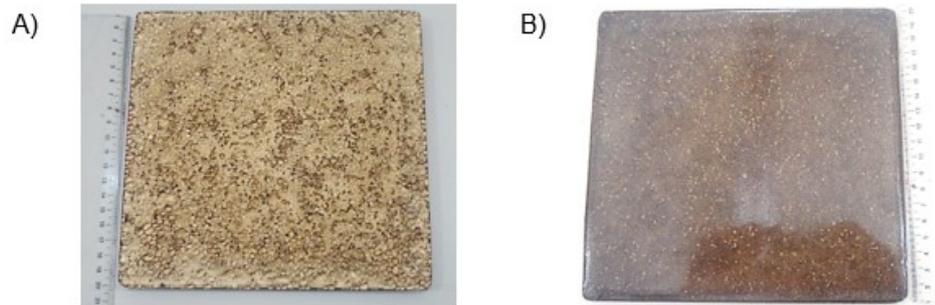


Fonte: Autoria própria

Na Figura 17, há textura da mesma peça nos seus dois lados, comprovando o controle da característica da superfície da placa. Destaca-se que o corante foi misturado de forma parcial,

dando um aspecto particular à peça confeccionada, sendo também, utilizado glitter de escamas. Na Figura 17B, nota-se que há brilho na superfície da peça e a sua cor predominante é o dourado, enquanto que na peça destacada na Figura 17A, nota-se que a aparência é de um aspecto “poroso”.

Figura 17 - Placas de 200 mm x 200 mm de resíduos de pneus em fim de vida. A) Superfície diferenciada e controlada. B) Superfície lisa com brilho na cor dourada



Fonte: Autoria própria

Este aspecto poroso é adquirido quando há formação das bolhas provenientes da reação química rápida pela ação do PMEK em elevada concentração (10%), com a resina poliéster isoftálica. Em sendo a superfície do glitter em “escamas”, as bolhas não conseguem se formar integralmente, vindo a estourar já na sua formação inicial, promovendo o aspecto da “rugosidade negativa”, ou seja, a formação semelhante à de poros. Foram vazadas a mistura de borrachas de pneus com resina, corantes e o uso do iniciador PMEK para cura; após sua secagem houve a retirada da peça já pronta do molde.

Na Figura 18, a presença do iniciador em quantidade de 5% promove uma cura rápida e um acabamento de aspecto áspero em uma das superfícies, e no outro lado da mesma peça, há uma superfície lisa devido ao contato com o molde.

Figura 18 - Placa com 60% de Pneus em fim de vida, na medida de 100 mm x 150 mm



Fonte: Autoria própria

A superfície lisa da peça da Figura 18 apresenta um acabamento de semi-brilho num dos seus lados, enquanto, no outro lado, há uma superfície com brilho. O aspecto da superfície áspera foi adquirido com a concentração de 5% de PMEK na concentração da massa e corante da cor azul. As bolhas que surgiram da reação química, pela saída do oxigênio, promoveram tal aspecto porque houve a formação completa destas bolhas e ocasionando, de maneira natural seu rompimento, deixando aspecto rugoso superficial.

Figura 19 - Protótipo similar a superfície de pedra de pia



Fonte: Autoria própria

Uma característica importante é poder criar protótipos imitando superfícies já consagradas no mercado, como se observa na Figura 19, onde os usos de pedaços do arame dos pneus geraram um protótipo semelhante à superfície de uma pedra tradicional de pias.

A Figura 20 deixa evidente o controle da superfície, não apenas quanto à rugosidade, mas também quanto aos aspectos da intensidade de brilho, pois a quantidade de PMEK pode gerar essa característica. Quando maior a quantidade de iniciador maior se observa o incremento do brilho superficial.

Figura 20 - Protótipo com 60% de Pneus em fim de vida e superfície fosca



Fonte: Autoria própria

Uma característica percebida nos protótipos foi que esses podem sofrer cortes com serras e plasma, pois a superfície de corte, após polida, recupera a aparência original que tinha antes do corte.

4.3.1 Análise Visual de Produtos Acabados

O intuito deste subcapítulo é evidenciar a possibilidade de se confeccionar protótipos para se fazer uma análise visual pelas características físicas semelhantes a produtos já existentes no mercado. Pode-se verificar que há a possibilidade de colocação no mercado, destacando-se seu apelo à sustentabilidade na reciclagem de Pneus em fim de vida.

Uma comprovação da influência do designer do molde sobre a confecção do desenho da superfície do protótipo é demonstrada na Figura 21, uma vez que ao se utilizar um molde de vidro canelado, tem-se o formato indicado na Figura 22, e a quantidade de 10% de PMEK atribui-lhe o brilho superficial.

Figura 21 - Protótipo com 60% de Pneus em fim de vida, e superfície ondulada



Fonte: Aatoria própria

Figura 22 - Protótipo com estampa gravada por processo de serigrafia



Fonte: Aatoria própria

Um exemplo de aplicação foi verificado ao se observar um protótipo confeccionado com 60% de Pneus em fim de vida, e posteriormente havendo a fixação em sua superfície de estampa por serigrafia (Figura 22), vindo a comprovar a aceitação de diferentes possibilidades de designer, facilitando a TCT, bem como a produção em escala industrial e sua comercialização.

Na Figura 23, buscou-se verificar a aceitação no protótipo da fixação de papel de parede em sua superfície, e foi notado visualmente que houve uma boa e significativa aceitação.

Figura 23 - Protótipo com 60% de Pneus em fim de vida, com papel de parede comum



Fonte: Autorial própria

Na Figura 24, nota-se a confecção de protótipo de um rodapé. Esse protótipo remete a lembrança de que esse está ligado diretamente à questão da sustentabilidade, devido ao Pneu em fim de vida estar agregado em sua estrutura, evitando-se, assim, que fique interagindo com o meio ambiente como meio poluidor. Agregar valor a esses pneus traz consigo uma melhor forma de efetivar a TCT.

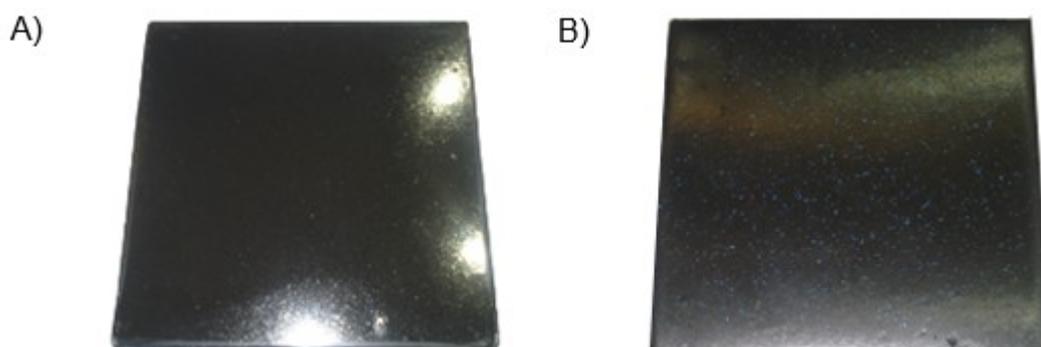
Figura 24 - Protótipo similar a estrutura de rodapé, confeccionado com 60% de Pneus em fim de vida



Fonte: Autorial própria

Nas Figuras 25A e 25B são demonstradas em uma placa similar a lajota, para colocação em ambientes, como o de uma cozinha, por exemplo. Este protótipo comprova que há possibilidade de se ter a confecção de placas de diferentes tamanhos, podendo-se, inclusive, ser utilizado para se fazer móveis. No protótipo visualizado na Figura 25A não houve adição de corante.

Figura 25 - Placa com 60% de Pneus em fim de vida, similar a lajota com brilho. A) sem adição de corantes. B) com adição de pigmento branco



Fonte: Autoria própria

Na Figura 25B, há uma tonalidade de cor azul, devido ao crescimento de corante da cor branco, tendo a massa formada pela presença da resina com os Pneus em fim de vida, que são de cor preto. Portanto, ao se olhar para a placa, tem-se a cor azul formada, justamente pela combinação do branco com o preto, no espectro da decomposição da cor branca.

Neste capítulo visualizam-se inúmeras possibilidades de se obter protótipos, sejam em formatos, sejam em cores e tons. Também se ressaltam as várias possibilidades de se confeccionar peças ou produtos com aspectos de diferentes rugosidades.

5 CONCLUSÕES

A primeira conclusão a se ter desta pesquisa, é sobre a sua inediticidade, pois os levantamentos bibliométricos pelo *Methodi Ordinatio* e o levantamento realizado das patentes registram que ambas são abrangentes e comprovam que não existem trabalhos similares ao descrito nesta tese.

O OE1 foi atingido ao se narrar um processo que evidencia o uso de Pneus em fim de vida em quantidades até 60% em peças de uso inéditos quanto ao seu aspecto de acabamento superficial.

As amostras confeccionadas com resíduos de Pneus em fim de vida com concentrações de 20%, 40% e 60%, foram ensaiadas e se obteve as suas propriedades mecânicas, vindo a cumprir o OE 2. Evidencia-se que a concentração de 60% de resíduos de Pneus em fim de vida traz resultados em suas propriedades melhores ou similares as das demais concentrações (20% e 40%). Conclui-se então, que na concentração de 60% de carga de resíduos de Pneus em fim de vida se encontram as melhores propriedades quanto à resistência ao impacto Izod, na resistência à flexão, sendo um material de característica leve, por possuir a menor densidade. Quando a resistência ao amolecimento Vicat, evidencia-se que há similaridade com os resultados dos ensaios com 40% de carga de resíduos de pneus em fim de vida, e deflexão térmica, em todas as concentrações se mostraram com resultados similares. Conclui-se que, após análise dos resultados dos ensaios mecânicos, se indica aplicabilidade com 60% de resíduos de Pneus em fim de vida, por consumir maior concentração de ELTs e apresentar propriedades mecânicas similares ou melhores as das demais concentrações estudadas (20% e 40%).

Após os estudos e análise dos resultados mecânicos, além da análise visuais das peças, pode-se concluir que as mesmas podem ser indicadas para aplicações como pisos, azulejos, pastilhas decorativas, rodapés, joias ecológicas, divisórias de ambientes tanto horizontais como verticais. Desta forma o OE3, foi respondido ao longo desta pesquisa.

O OE 4 foi respondido quando já se fez a transferência desta tecnologia ao se publicar o artigo científico intitulado: “*Proposal to Reuse Rubber Waste from End of Life Tires Using Thermosetting Resin*”, na revista *Sustainability* de 2019, com registro eletrônico - <https://doi.org/10.3390/su11246997>. Artigos foram publicados também junto ao VIII CONBREPRO (Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção), com o título: “Proposta para reciclagem de pneus em fim de vida” e “Uma reflexão sobre o conceito de reciclagem de pneus”, inclusive fazendo parte dos anais do congresso de 2019, conforme endereço eletrônico:

<https://aprepro.org.br/conbrepro/2019/wp-content/uploads/2020/04/Ebook-VIII-ConBRepro.pdf>. Contudo, uma das maiores contribuições para a TCT é a facilidade deixada

para a comunidade, através do repasse do conhecimento pela formação desta tese e disponibilizada nos seus aspectos de: exclusividade de direito, conhecimento deixado aberto para licenciamento dos direitos e quanto a transferência da titularidade. Essas últimas citações podem promover novamente a transferência de tecnologia ao vislumbrar os direitos de patentes as quais já foram solicitadas.

O que poderá ser desenvolvido com Pneus em fim de vida, que seja de uso prático para sociedade e que proporcione a transferência de tecnologia? Essa pergunta problema foi respondida na tese ao se apresentar os artigos publicados e a patentes e seu licenciamento, bem como com as sugestões práticas de aplicabilidade dos protótipos confeccionados.

O objetivo geral foi atingido ao se efetivar este estudo, que revela uma forma de se reciclar Pneus em fim de vida, contendo aplicações práticas e descrevendo a transferência de tecnologia já realizada, como as que podem ser concretizadas por meio da patente e seu licenciamento.

A tese demonstra a necessidade da continuidade dos estudos, utilizando outras resinas e variando as concentrações seja de Pneus em fim de vida como utilização de pressão na compactação das peças, por exemplo.

A pesquisa se considera de grande valia, pois abre uma visão de novas possibilidades de aplicabilidade, ao se reciclar resíduos de Pneus em fim de vida; uma vez que esta técnica auxilia a natureza pela sua sustentabilidade, dando um destino inovador ao se indicar a quantidade de 60% utilizado para a confecção das peças fabricada. Esse ato irá consumir maior quantidade desta grande contaminante que são as borrachas de pneus inservíveis.

As limitações deste trabalho são quanto a pesquisa das patentes publicadas na área, já que essas estão em constante mudanças das informações junto aos bancos de dados, devido ao processo de patenteamento, que passa pelo protocolo descritivo da patente, concessão e publicação. Dependendo do país de origem, essas fases são prolongadas, levando-se anos até haver publicação e serem referenciados nos bancos de dados, permitindo que haja alterações constantes. Outra limitação é o chamado “segredo industrial”, pois as empresas buscam reter seus conhecimentos estratégicos, tanto na área de produção como de descarte.

REFERÊNCIAS

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). **NBR 10.004**: 1987 - resíduos sólidos. Rio de Janeiro: ABNT, 1987.

ADIO, S.O.; ASIF, M.; MOHAMMED, A.-R.I.; BAIG, N.; Al-ARFAJ, A.A.; SALEH, T.A. Poly (amidoxime) Modified Magnetic Activated Carbon for Chromium and Thallium Adsorption: Statistical Analysis and Regeneration. **Process Saf. Environ. Prot.** 2018.

AFINKO (Laboratório de Análise de Materiais Poliméricos). Disponível em: <https://afinkopolimeros.com.br/hdt-e-vicat-temperaturas>. Acesso em: 7 ago. 2020.

AGRAWAL, D. Latest global developments in microwave materials processing. **Mater. Res. Innov.**, n. 14, p. 3-8, 2010.

AMBIKA, M.R.; NAGAI AH, N.; HARISH, V.; LOKANATH, N.K.; SRIDHAR, M.A.; RENUKAPPA, N.M.; SUMAN, S.K. Preparation and characterization of Isophthalic-Bi₂O₃ polymer composite gamma radiation shields. **Radiation Physics and Chemistry**, v. 130, p. 351-358, 2017.

ANIP (Associação Nacional da Indústria de Pneumático). Disponível em: <http://www.anip.org.br>. Acesso em: 12 nov. 2019.

ANTONIOU, N.; ZABANIOTOU, A. Re-designing a viable end-of-life depolymerization in circular economy: pyrolysis prototype demonstration at TRL 7, with energy optimization and carbonaceous materials production. **Journal of Cleaner Production**, v. 174, p. 74-86, 2018.

ASTM D1525-2009. Active Standard Test Methods International. Determination of Vicat Softening Temperature of Plastics; ASTM International: West Conshohocken, PA, USA, 2010. Disponível em: <https://www.astm.org> Acesso em: 28 sept. 2017).

ASTM D2240-2015-Active Standard Test Methods International. Standard Test Method for Rubber Property Durometer Hardness; ASTM International: West Conshohocken, PA, USA, 2015. Disponível em: <https://www.astm.org> Acesso em: 24 sept. 2017).

ASTM D256-2010-Active Standard Test Methods International. Standard Test Methods for Determining the Izod Pendulum Impact Resistance of Plastics; ASTM International: West Conshohocken, PA, USA, 2010. Disponível em: <https://www.astm.org> Acesso em: 24 sept. 2017.

ASTM D648:2016. Active Standard Test Methods International. Standard Test Method for Compressive Properties of Rigid Plastics. ASTM International: West Conshohocken, PA, USA, 2010. Disponível em: <https://www.astm.org> Acesso em: 21 sept. 2017.

ASTM D648:2016-Active Standard Test Methods International. *Standard Test Method for Deflection Temperature of Plastics Under Flexural Load in the Edgewise Position*. ASTM International: West Conshohocken, PA, USA, 2010. Disponível em: <https://www.astm.org> Acesso em: 15 Sept. 2017.

ASTM D6913-2017-Active Standard Test Methods International. Standard Test Methods for Particle-Size Distribution (Gradation) of Soils Using Sieve Analysis; ASTM International: West Conshohocken, PA, USA, 2017. Disponível em: <https://www.astm.org> Acesso em: 10 Sept. 2017.

ASTM D695:2015. Active Standard Test Methods International. Standard Test Method for Compressive Properties of Rigid Plastics. ASTM International: West Conshohocken, PA, USA, 2010. Disponível em: <https://www.astm.org> Acesso em: 28 Sept. 2017.

ASTM D790-2010-Active Standard Test Methods International. *Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials*; ASTM International: West Conshohocken, PA, USA, 2010. Disponível em: <https://www.astm.org> Acesso em: 24 Sept. 2017.

ASTM D792-2013-Active Standard Test Methods International. *Standard Test Methods for Density and Specific Gravity (Relative Density) of Plastics by Displacement*; ASTM International: West Conshohocken, PA, USA, 2013. Disponível em: <https://www.astm.org> Acesso em: 20 Sept. 2017.

BANDAG-Bridgestone. **Americas Tire Operations**. 2018. Disponível em: <https://www.bandag.com.br> Acesso em: 22 Sept. 2018.

BERTOLLO, S. M.; FERNANDES, S. M.; SCHALCH, V. Benefícios da incorporação de borracha de pneus em pavimentos asfálticos. *In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, Anais...* Cancún (México), 2002.

BIGLIARDI, B.; GALATI, F.; MAROLLA, G.; VERBANO, C. Factors affecting technology transfer offices' performance in the Italian food context. **Technology Analysis and Strategic Management**, v. 27, n. 4, p. 361-384, 2015.

BLESSEN, S.; GUPTA, R.; PANICKER, V. Recycling of waste tire rubber as aggregate in concrete: Durability-related performance. **J. Clean. Prod.** n. 112, p. 504-513, 2016.

BOGDAL, D.; PENCZEK, P.; PIELICHOWSKI, J.; PROCIAK, A. Microwave Assisted Synthesis, Crosslinking, and Processing of Polymeric Materials. **Polym. Sci.**, p. 194-263, 2003.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Política Nacional de Resíduos Sólidos**. Disponível: <http://www.mma.gov.br/pol%C3%ADtica-de-res%C3%ADduos-s%C3%B3lidos.html>. Acesso em: 14 nov. 2018.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução n. 258, de 26 de agosto de 1999**. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=258>. Acesso em: 15 nov. 2018.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução n. 416, de 30 de setembro de 2009**. Disponível em: http://www.mma.gov.br/estruturas/a3p/_arquivos/conama_416_09_36.pdf. Acesso em: 15 nov. 2018.

BRAVO, M.; BRITO, J. Concrete made with used tyre aggregate: Durability-related performance. **J. Clean. Prod.** n.25, p. 42-50, 2012.

BULIGON, E.A.; HASELEIN, C.R.; GATTO, D.A.; SANTINI, E.J.; RAUBER, R.; BERGER, C. Propriedades físico-mecânicas de painéis de lâminas paralelas reforçados com PRFV. **Ciência Florestal**, v. 25, n. 3, p. 731-741, 2015.

CALCAGNINI, G.; FAVARETTO, I.; GIOMBINI, G.; PERUGINI, F.; ROMBALDONI, R. The role of universities in the location of innovative start-ups. **Journal of Technology Transfer**, v. 41, n. 4, p. 670-693, 2016.

CAMPOS, E.A.R.; PAGANI, R.N.; RESENDE, L.M.; PONTES, J. Construction and qualitative assessment of a bibliographic portfolio using the methodology Methodi Ordinatio. **Scientometrics**, n. 116, p. 815-842, 2018.

CARVALHO, R. J. M. Ergopolis: an ergonomics approach applied to a city. **Work**, v. 41, supl. 1, p. 6071-6078, 2012.

CHAI, S.; SHIH, W. Bridging science and technology through academic-industry partnerships. **Research Policy**, v. 45, n. 1, p. 148-158, 2016.

CHATFIELD, H.W. **The Science of surface coatings**. London: Ernest Benn Limited, 1962.

CROCCOLO, D.; DE AGOSTINIS, M.; FINI, S.; LIVERANI, A.; MARINELLI, N.; NISINI, E.; OLMI, G. Mechanical characteristics of two environmentally friendly resins reinforced with flax fibers. **Journal of Mechanical Engineering**, 2015.

CTB (Ciência e Tecnologia da Borracha). Disponível em: <http://www.ctborracha.com>. Acesso em: 13 nov. 2019.

CUNHA, L.; CERYNO, P.; LEIRAS, A. Social Supply Chain Risk Management: A taxonomy, a framework and a research. **J. Clean. Prod.**, n. 220, p. 1101-1110, 2019.

DANMALIKI, G.I.; SALEH, T.A. Influence of conversion parameters of waste tires to activated carbon on adsorption of dibenzothiophene from model fuels. **J. Clean. Prod.**, n.117, p. 50-55, 2016.

DANMALIKI, G.I.; SALEH, T.A.; SHAMSUDDEEN, A.A. Response surface methodology optimization of adsorptive desulfurization on nickel/activated carbon. **Chem. Eng. J.**, n. 313, p. 993-1003, 2017.

DAVALLO, M.; PASDAR, H.; MOHSENI, M. Mechanical Properties Unsaturated Polyester Resin. **Int. J. Chemtech Res.**, n.2, p. 2113-2117, 2010.

DONG, L.; GU, F.; FUJITA, T.; HAYASHI, Y.; GAO, J. Uncovering opportunity of low-carbon city promotion with industrial system innovation: case study on industrial symbiosis projects in China. **Energy Policy**, n. 65, p. 388-397, 2014.

ELANCHEZHIAN, C.; RAMANATH, B.V.; RAMAKRIHNNAN, G.; RAGHAVENDRA, K.N.S.; MURALIDHARAN, M.; KISHORE, V. Review on metal matrix composites for marine applications. **Materials Today: Proceedings**; v. 5, n. 1, p. 1211-1218, 2018.

EREN, S.; POYRAZ, B., GOKÇE, N.; SAMANDAR, A.; AYKANAT, B.; SUBASI, S. Investigation of the initiator effect on mechanical, thermal and chemical properties of polyesters used in composite material production. **Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University**, 2018.

ESPACENET Patent Search. 2018. Disponível em: <https://worldwide.espacenet.com> Acesso em: 12 jul. 2018.

ETRMA (EUROPEAN TYRE & RUBBER MANUFACTURERS ASSOCIATION). **Annual Report 2017: Moving Innovation that Cares**. 2017. Disponível em: <http://www.etrma.org/> Acesso em: 24 Sept. 2018.

FRANCO, M.; HAASE, H.; FERNANDES, A. The influence of academic staff's personal and professional characteristics on the decision to cooperate with industry. **European Journal of International Management**, v. 8, n. 3, p. 293-309, 2014.

GOMES, M. A. S.; PEREIRA, F. E. C. Hélice tríplice: um ensaio teórico sobre a relação universidade-empresa-governo em busca da inovação. **International Journal of Knowledge Engineering Management**, v.4, n. 8, p. 136-155, 2015.

GOOGLE PATENTS. **Google's Open Worldwide Patent Database**. 2018. Disponível em: <https://www.google.com/patents> Acesso em: 20 July 2018.

HOSSAIN, M.A.; GANESAN, P.; JEWARATNAM, J.; CHINNA, K. - Optimization of process parameters for microwave pyrolysis of oil palm fiber (OPF) for hydrogen and biochar production. **Energy Convers. Management**, n. 133, p. 349-362, 2017.

HSU, D. W.; SHEN, Y. C.; YUAN, B. J.; CHOU, C. J. Toward successful commercialization of university technology: Performance drivers of university technology transfer in Taiwan. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 92, p. 25-39, 2015.

IBAMA (INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS). Disponível em: <https://www.ibama.gov.br/residuos/pneus>. Acesso em: 14 nov. 2019.

INPI (INSTITUTO NACIONAL DE PROPRIEDADE INTELECTUAL). Disponível em: <https://www.inpi.com.br>. Acesso em: 5 jul. 2018.

JATMA (JAPAN AUTOMOBILE TYRE MANUFACTURERS ASSOCIATION). **iTire Recycling**. 2017. Disponível em: <http://www.jatma.or.jp/english/tyrerecycling/report01.html>. Acesso em: 20 October 2018).

KAFOUROS, M.; WANG, E.Y. Technology transfer within China and the role of location choices. **International Business Review**, v. 24, n. 3, p. 353-366, 2015.

KARGER-KOCSIS, J.; MÉSZÁRIOS, L.; BÁRÁNY, T. *Ground* tire rubber (GTR) in thermoplastics, thermosets, and rubbers. **J. Mater. Sci.**, n. 48, p. 1-38, 2013.

KELLE, M. Crossing industry borders: German manufacturers as services exporters. **World Economy**, v. 36, n. 12, p. 1494-1515, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/twec.12111>. Acesso em 12 ago. 2018.

KRATZER, J.; MEISSNER, D.; ROUD, V. Open innovation and company culture: internal openness makes the difference. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 119, p.128-138, 2017.

LAGARINHOS, C. A. F.; TENÓRIO, J. A. S. Reciclagem de pneus: discussão do impacto da política brasileira. **Engevista**, v. 11, n. 1, 2009. Disponível em: http://www.uff.br/engevista/1_11Engevista4.pdf. Acesso em: 8 dez. 2017.

LAGARINHOS, C.A.; TENÓRIO, J.A. Reverse logistics for used tires in Brazil. **Polymer**, n. 23, p. 49-58, 2013.

LANDI, D.; GIGLI, S.; GERMANI, M.; MARCONI, M. - Investigating the feasibility of a reuse scenario for textile fibres recovered from end-of-life tyres. **Waste Manag.**, n. 75, p. 187-204, 2018.

LEE, S.B.; ROCKETT, T.J.; HOFFMAN, R.D. Water-induced nucleation of disc cracks in selected thermosets, **Polymer**, v. 33, n. 11, p. 2353-2363, 1992.

LEISCHNIG, A.; GEIGENMUELLER, A.; LOHMANN, S. On the role of alliance management capability, organizational compatibility, and interaction quality in

interorganizational technology transfer. **Journal of Business Research**, v. 67, n. 6, p. 1049-1057, 2014.

LENS (Banco Mundial de Patentes Abertas da Cambia e da Universidade de Tecnologia de Queensland). Disponível em: <https://www.lens.org/lens>. Acesso em: 5 nov. 2018.

LI, X.; MA, B.; XU, L.; HU, Z.; WANG, X. Thermogravimetric analysis of the co-combustion of the blends with high ash coal and waste tyres. **Thermochimica Acta**, n.441, p.79-83, 2006.

LUZ, A. A.; KOVALESKI, J. L.; ANDRADE, P. P. Uma abordagem antropotecnológica na formação de spin-offs. **Espacios**, v. 37, n. 31, p. 8, 2016.

MARTÍNEZ, J.D.; PUY, N.; MURILLO, R.; GARCIA, T.; NAVARRO, M.V.; MASTRAL, A.M. Waste tire pyrolysis: a review. **Renew Sustainability Energy Reviews**, n. 23, p. 179-213, 2013.

MISIK, L.; RADWANKA, A. Properties and Application of Scrap Tire Pyrolysis Products; **Annals of DAAAM and Proceedings**; DAAAM International Vienna: Vienna, Austria, 2008.

MUGERAUER, R. Anthropotechnology: sloterdijk on environmental design and the foam worlds of co-isolation. **Architecture and Culture**, v. 4, p. 227-248, 2016.

MULLER, M.F.; ESMANIOTO, F.; HUBER, N.; LOURES, E.R.; CANGIOLIERI JUNIOR, O. A Systematic Literature Review of Interoperability in the Green Building Information Modeling Lifecycle. **J. Clean. Prod.**, n.223, p. 397-412, 2019.

O CONSULTOR EM PATENTES – ARI MAGALHÃES.
<http://www.oconsultorempatentes.com> - Acesso em: 28 dez. 2020.

OICA (INTERNATIONAL ORGANIZATION OF MOTOR VEHICLE MANUFACTURERS). **Tire**. 2017. Disponível em: <https://www.oica.net> Acesso em: 18 oct. 2018.

PAGANI, R.N.; KOVALESKI, J.L.; RESENDE, L. Methodi Ordinatio: A proposed methodology to select and rank relevant scientific papers encompassing the impact factor, number of citation, and year of publication. **Scientometrics**, n. 105, p. 2109-2135, 2015.

PAGANI, R.N.; KOVALESKI, J.L.; RESENDE, L.M.M. Avanços na composição da Methodi Ordinatio para revisão sistemática de literatura. **Ciência da Informação**, n. 46, p. 161-187, 2018.

PEDRAM, A.; YUSOFF, N.; UDONCY, O.; MAHAT, A.; PEDRAM, P.; BABALOLA, A. Integrated forward and reverse supply chain: a tire case study. **Waste Management**, v. 60, p. 460-470, 2017.

PENG, M. W.; WANG, D. Y. L.; JIANG, Y. An institution-based view of international business strategy: a focus on emerging economies. **Journal of International Business Studies**, v. 39, n. 5, p. 920-936, 2008.

PERKMANN, M.; TARTARI, V.; McKELVEY, M.; AUTIO, E.; BROSTROM, A.; D'ESTE, P.; FINI, R.; GEUNA, A.; GRIMALDI, R.; HUGHES, A.; KRABEL, S.; KITSON, M.; LLERENA, P.; LISSONI, F.; SALTER, A.; SOBRERO, M. Academic engagement and commercialization: a review of the literature on university-industry relations. **Research Policy**, v. 42, p. 423-442, 2013.

PEZOA-FUENTES, C.; VIDAL-SUÑÉ, A. Cluster perpetuation: maintenance of competitive advantages over time: the case of Chile's large north. **Resources Policy**, v. 54, p. 176-188, 2017.

RAJAN, V.V.; DIERKES, W.K.; JOSEPH, R.; NOORDERMEER, J.W. - Science and technology of rubber reclamation with special attention to NR-based waste latex products. **Prog. Polym. Sci.**, n. 31, p. 811-834, 2006.

RAMARAD, S.; KHALID, M.; RATNAM, C.T.; CHUAH, A.L.; RASHMI, W. Waste tire rubber in polymer blends: A review on the evolution, properties and future. **Prog. Mater. Sci.**, n. 72, p. 100-140, 2015.

RAVI, K.; PRAKASH, K.R. Mathematical modeling of unsaturated isophthalic resin's curing cycle. **International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development**, 2018.

RECHHOLD-RESIN. Manufacturer in Brazil. **Tire**. Disponível em: <http://www.rechhold.com> Acesso em: 18 oct. 2018.

RECHHOLD-RESIN - Manufacturer in Brazil. **Tire**. Disponível em: <http://www.rechhold.com> Acesso em: 14 may 2020.

RODRIGUES, E. C. C. **Metodologia para investigação da percepção das inovações na usabilidade do sistema metroviário**: uma abordagem antropotecnológica. 2014. 262 f. Tese (Doutorado em Transportes) - Universidade de Brasília, Brasília, 2014. Disponível em: <http://repositorio.unb.br/handle/10482/17745>. Acesso em: 19 nov. 2018.

SALEH, T.A. Mercury sorption by silica/carbon nanotubes and silica/activated carbon: A comparison study. **J. Water Supply: Res. Technol. - Aqua.**, n. 64, p. 892-903, 2015.

SALEH, T.A. Simultaneous adsorptive desulfurization of diesel fuel over bimetallic nanoparticles loaded on activated carbon. **J. Clean. Prod.**, n. 172, p. 2123-2132, 2018.

SALEH, T.A. The influence of treatment temperature on the acidity of MWCNT oxidized by HNO₃ or a mixture of HNO₃/H₂SO₄. **Appl. Surf. Sci.** n. 257, p. 7746-7751, 2011.

SALEH, T.A.; ADIO, S.A.; ASIF, M.; DAFALLA, H. Statistical analysis of phenols adsorption on diethylenetriamine-modified activated carbon. **J. Clean. Prod.**, n. 182, p. 960-968, 2018.

SALEH, T.A.; SULAIMAN, K.O.; AL-HAMMAD, A.; DAFALLA, H.; DANMALIKI, G. Adsorptive desulfurization of thiophene, benzothiophene and dibenzothiophene over activated carbon manganese oxide nanocomposite: With column system evaluation. **J. Clean. Prod.**, n. 154, p. 401-412, 2017.

SALEH, T.A.; TUZEN, M.; SARI, A. Magnetic activated carbon loaded with tungsten oxide nanoparticles for aluminum removal from Waters. **J. Environ. Chem. Eng.**, n. 5, p. 2853-2860, 2017.

SCHMIDT, D.G.; D'ALMEIDA, J.R.M. Effect of Temperature Exposure on the Flexural Mechanical Behavior of Two Pultruded Composites. **Fire Technology**, v. 54, p.1565-1583, 2018.

SEBOLA, M. R.; MATIVENGA, J.; PRETORIUS, J. A benchmark study of waste tyre recycling in South Africa to European Union practice. **Procedia CIRP**, v. 69, p. 950-955, 2018.

SGOBBA, S.; MASSIMO, B.; MOLFETTA, M.; MARANO, G. C. Mechanical performance and medium-term degradation of rubberised concrete. **Construction and Building Materials**, v. 98, p. 820-831, 2015.

SIENKIEWICZ, M.; JANIK, H.; BORZEDOWSKA-LABUDA, K.; KUCINSKA-LIPKA, J. Environmentally friendly polymer-rubber composites obtained from waste tyres: a review. **J. Clean. Prod.**, n. 147, p. 560-571, 2017.

SIENKIEWICZ, M.; KUCINSKA-LIPKA, J.; JANIK, H.; BALAS, A. Process in used tyres management in the European Union: a review. **Waste Management**, v. 32, n. 10, p. 1742-1751, 2012.

STADLER, A.; ARANTES, E.C.; HALICKI, Z.; SAFRAITER, G.H. Social responsibility in tourism cooperatives: proposal of a measurement model based on the VBA model. **Estudos Turísticos**, n. 211, p. 125-147, 2017.

SURESH, P.; NAYAKA, R.N.; MANIVANNAN, M.V. Evaluation of physical and mechanical properties of glass fiber reinforced polyester resin. **International Journal of Scientific and Technology Research**, v. 1, 2020.

TARTARI, V.; PERKMANN, M.; SALTER, A. In good company: the influence of peers on industry engagement by academic scientists. **Research Policy**, v. 43, n. 7, p. 1189-1203, 2014.

TRONGKAEW, P.; UTISTHAM, T.; REUBROYCHAROEN, P.; HINCHIRANAN, N. Photocatalytic desulfurization of waste tire pyrolysis oil. **Energies**, v. 4, p. 1880-1896, 2011.

UNDRI, A.; MEINI, S.; ROSI, L.; FREDIANI, M.; FREDIANI, P. Microwave pyrolysis of polymeric materials: waste tires treatment and characterization of the value-added products. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 103, p. 149-158, 2013.

VALENCIA-VÁZQUEZ, R.; PEREZ-LOPEZ, M. E.; VICENCIO-DE-LA-ROSA, M. G.; MARTINEZ-PRADO, M. A.; RUBIO-HERNANDEZ, R. Knowledge and technology transfer to improve the municipal solid waste management system of Durango City, Mexico. **Waste Management & Research**, v. 32, n. 9, p. 848-856, 2014.

VASCONCELOS, G.; LOURENÇO, P. B.; MENDONÇA, P.; CAMÕES, A.; POLETTI, E. Proposal of an innovative solution for partition walls: Mechanical, thermal and acoustic validation. **Construction and Building Materials**, v. 48, p. 961-979, nov. 2013.

WALTER, J. Safety management at the frontier: cooperation with contractors in oil and gas companies. **Safety Science**, v. 91, p. 394-404, jan. 2017.

WBCSD (World Business Council for Sustainable Development). **Global ELT Management: a Global State of Knowledge on Collection Rates, Recovery Routes and Management Methods**. 2018. Disponível em: <https://www.wbcd.org/> Acesso em: 24 Sept. 2018.

WEISS, B.; CASTALDI, M.J. - Novel integrated process for beneficial use of waste tires: generation of synthesis gas and electricity. In: ANNUAL INTERNATIONAL CONFERENCE ON INCINERATION AND THERMAL TREATMENT TECHNOLOGIES, (A and WM, IT3), **Proceedings...** 2006. p. 217-232.

WISNER, A. A antropotecnologia. **Estudos Avançados**, v. 6, n. 16, p. 29-34, set./dez. 1992.