

**UNIVERSIDADE DA REGIÃO DE JOINVILLE - UNIVILLE**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESIGN**

**CLARA ANDREZZO**

**CONTRIBUIÇÃO DO DESIGN DE PRODUTOS NO APROVEITAMENTO DE  
RESÍDUOS INDUSTRIAIS DE ARTEFATOS DE BORRACHA**

**JOINVILLE**

**2022**

**CLARA ANDREZZO**

**CONTRIBUIÇÃO DO DESIGN DE PRODUTOS NO APROVEITAMENTO DE  
RESÍDUOS INDUSTRIAIS DE ARTEFATOS DE BORRACHA**

Relatório Técnico apresentado como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Design pelo Programa de Pós-Graduação em Design da Universidade da Região de Joinville - Univille, área de concentração Design e Sustentabilidade.

Orientação: Prof. Dr. Danilo Corrêa Silva

Coorientação: Profa. Dra. Noeli Sellin

**JOINVILLE**

**2022**

Catálogo na publicação pela Biblioteca Universitária da Univille

A572c Andrezzo, Clara  
Contribuição do design de produtos no aproveitamento de resíduos industriais de artefatos de borracha/ Clara Andrezzo; orientador Dr. Danilo Corrêa Silva, coorientadora Dra. Noeli Sellin. – Joinville: UNIVILLE, 2022.

78 f. : il.

Relatório técnico (Mestrado em Design – Universidade da Região de Joinville)

1. Resíduos industriais. 2. Reaproveitamento (Sobras, refugos, etc.). 3. Elastômeros. 4. Ecodesign. 5. Desenho industrial. I. Silva, Danilo Corrêa. II. Sellin, Noeli. III. Título.

CDD 628.4

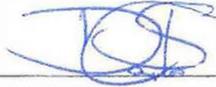
**Termo de Aprovação**

**“Contribuição do Design de Produtos no Aproveitamento de Resíduos Industriais de Artefatos de Borracha”**

por

Clara Andrezzo

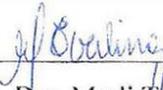
Trabalho de Conclusão julgado para a obtenção do título de Mestra em Design, aprovado em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Design – Mestrado Profissional.



Prof. Dr. Danilo Corrêa Silva  
Orientador (UNIVILLE)



Prof. Dra. Noeli Sellin  
Coorientadora (UNIVILLE)



Prof. Dra. Marli Teresinha Everling

Coordenadora do Programa de Pós-Graduação em Design

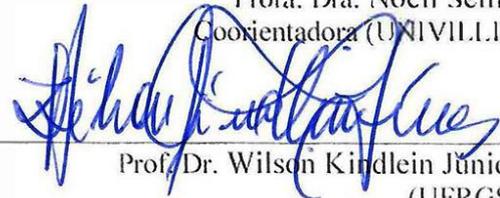
**Banca Examinadora:**



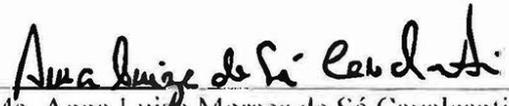
Prof. Dr. Danilo Corrêa Silva  
Orientador (UNIVILLE)



Prof. Dra. Noeli Sellin  
Coorientadora (UNIVILLE)



Prof. Dr. Wilson Kindlein Júnior  
(UFRGS)



Prof. Ma. Anna Luiza Moraes de Sá Cavalcanti  
(UNIVILLE)



Sra. Andresa de Oliveira  
(Microjuntas Ind. Com. Ltda.)

Joinville, 04 de agosto de 2022.

## **AGRADECIMENTOS**

Meu agradecimento aos professores Prof. Danilo Corrêa Silva e a Prof. Noeli Sellin, por todo o tempo, orientação, incentivo e apoio durante a pesquisa.

Agradeço à empresa MicroJuntas Ltda. por ceder acesso ao laboratório, informações e estudos de caso para a pesquisa, em especial a Andresa por ter sido o contato e nos auxiliado durante todo o processo.

Aos professores Prof. Wilson Kindlein Júnior e Anna Cavalcanti, membros da banca de qualificação e defesa, pelos conselhos e sugestões para o desenvolvimento da pesquisa.

Meu agradecimento aos Laboratórios de Materiais da UNIVILLE e da UDESC por terem colaborado com as análises no material.

Minha gratidão aos meus pais Marcelo e Solange por sempre me incentivarem de todas as formas a estudar. Agradeço ao pai por todas as vezes que trouxe a janta enquanto assistia a aula remota e a mãe por ter compreendido as migalhas de borracha espalhadas pela casa.

Meu agradecimento a todos que me acompanharam nesses últimos anos, aos meus irmãos Caio e Marília, meus sobrinhos, Eduardo, Cíntia, Tia Kelly, Idauana e Bruna por sempre me ajudarem a ser uma pessoa melhor.

## RESUMO

Os resíduos poliméricos representam um problema ambiental, econômico e social em todo o mundo. Nesse contexto, o emprego de tecnologias de reciclagem e o desenvolvimento de produtos, que minimizem os impactos desde a sua geração até o descarte, torna-se cada dia mais importante. Esse trabalho surgiu da demanda de uma empresa de pequeno porte de Joinville-SC, que produz artefatos de borracha, a qual gera cerca de 40 toneladas de rejeitos elastoméricos por mês, oriundos de seus processos de produção. Os resíduos incluem aparas ou subprodutos das etapas de moldagem e acabamento, que são destinados a uma empresa especializada responsável por processá-los e, por fim, destiná-los à recuperação energética. Embora seja uma solução viável, a companhia busca alternativas mais sustentáveis de reaproveitamento desse material. Assim, o objetivo desse projeto é desenvolver uma proposta de reutilização de um resíduo elastomérico gerado no processo de produção da empresa MicroJuntas de Joinville/SC. Esse trabalho se estruturou segundo a metodologia *Design Science Research*, que busca aproximar a ciência da prática, utilizando os conhecimentos da pesquisa acadêmica sobre o material definido para a ideação de novos produtos. Uma etapa empírica da pesquisa permitiu o desenvolvimento de um compósito de matriz poliuretano biodegradável. Esse material foi analisado mecanicamente para que fosse possível identificar aplicações no design de produto. A partir das análises foi possível identificar uma aplicação no mercado *pet*, para o qual foi proposto um artefato com a utilização desse material. Os resultados apontam que a proposta é tecnicamente viável, apresentando aspectos estéticos e mecânicos compatíveis com a aplicação. Conclui-se que os objetivos foram alcançados com sucesso, demonstrando potencial de processamento desse resíduo e sua utilização no design de produtos.

**Palavras-chave:** elastômeros, resíduos industriais, design para a sustentabilidade, ecodesign, design e materiais.

## ABSTRACT

### **CONTRIBUTION OF PRODUCT DESIGN IN THE USE OF INDUSTRIAL WASTE FROM RUBBER ARTIFACTS**

Polymeric waste represents an environmental, economic, and social problem worldwide. In this context, the use of recycling technologies and the development of products, which minimize impacts from their production to disposal, becomes increasingly important. This work arose from the demand of a small company in Joinville-SC, which produces rubber artifacts. This company generates around 40 tons of elastomeric waste per month from its production processes. Waste includes shavings or by-products from the molding and finishing stages, which are sent to a specialized company responsible for processing them and, finally, destining them to energy recovery. Although that is a viable solution, the company is looking for more sustainable alternatives for reusing this material. Thus, the objective of this work is to develop a proposal for the reuse of an elastomeric waste generated in the production process of MicroJuntas company in Joinville/SC. This work was structured according to the Design Science Research methodology, which seeks to bring science closer to practice, using the knowledge of academic research on the material defined for the ideation of new products. An empirical stage of the research allowed the development of a composite material based on biodegradable polyurethane matrix. This material was mechanically analyzed so that it was possible to identify applications in product design. From the analyzes it was possible to identify an application in the pet market, for which an artifact was proposed using this material. The results indicate that the proposal is technically feasible, presenting aesthetic and mechanical aspects compatible with the application. It is concluded that the objectives were successfully achieved, demonstrating the potential for processing this waste and its use in the design of products.

**Keywords:** elastomers, industrial waste, design for sustainability, ecodesign, design and materials.

## RESUMEN

### **CONTRIBUCIÓN DEL DISEÑO DE PRODUCTO EN EL USO DE RESIDUOS INDUSTRIALES DE ARTEFACTOS DE CAUCHO**

Los residuos poliméricos representan un problema ambiental, económico y social a nivel mundial. En este contexto, cobra cada vez más importancia el uso de tecnologías de reciclaje y el desarrollo de productos que minimicen los impactos desde su generación hasta su eliminación. Este trabajo surgió por la demanda de una pequeña empresa de Joinville-SC, productora de artefactos de caucho, que genera alrededor de 40 toneladas mensuales de residuos elastoméricos, provenientes de sus procesos productivos. Los residuos incluyen los desechos o subproductos de las etapas de moldeo y acabado, que se envían a una empresa especializada que se encarga de procesarlos y, finalmente, destinarlos a valorización energética. Aunque es una solución viable, la empresa está buscando alternativas más sostenibles para la reutilización de este material. Así, el objetivo de este proyecto es desarrollar una propuesta para la reutilización de un residuo elastomérico generado en el proceso de producción de la empresa MicroJuntas en Joinville/SC. Este trabajo se estructuró según la metodología Design Science Research, que busca acercar la ciencia a la práctica, utilizando el conocimiento de la investigación académica sobre el material definido para la ideación de nuevos productos. Una etapa empírica de la investigación permitió el desarrollo de un compuesto de matriz de poliuretano biodegradable. Este material fue analizado mecánicamente de manera que fue posible identificar aplicaciones en el diseño de productos. A partir de los análisis se logró identificar una aplicación en el mercado de mascotas, para lo cual se propuso un artefacto utilizando este material. Los resultados indican que la propuesta es técnicamente factible, presentando aspectos estéticos y mecánicos compatibles con la aplicación. Se concluye que los objetivos fueron alcanzados con éxito, demostrando el potencial para el procesamiento de este residuo y su aprovechamiento en el diseño de productos.

**Palabras clave:** elastómeros, residuos industriales, diseño para la sostenibilidad, ecodiseño, diseño y materiales.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Ciclo de Vida da Borracha na Europa.....	15
Figura 2 - Etapas da Teoria da Mudança .....	18
Figura 3 - Etapas da metodologia <i>Design Science Research</i> .....	20
Figura 4 - Entrada da empresa Microjuntas Ltda. ....	21
Figura 5 - Juntas de precisão .....	21
Figura 6 - Processos dentro da empresa MicroJuntas.....	22
Figura 7 - Material Virgem (A) e Cilindro para mistura (B).....	23
Figura 8 - Moldagem por transferência .....	23
Figura 9 - Exemplos de subprodutos da empresa MicroJuntas .....	24
Figura 10 - Resíduo da manta pré-moldada .....	24
Figura 11 - Tamboreamento Criogênico .....	25
Figura 12 - Ligações cruzadas da borracha vulcanizada.....	27
Figura 13 - Partículas de borracha produzida por um processo criogênico .....	33
Figura 14 - Partículas de borracha produzidas por um processo de jato de água.....	33
Figura 15 - Fotografia do pó de borracha moída em moinho Craker.....	34
Figura 16 - Tênis Adidas feito com plástico reciclado do oceano .....	38
Figura 17 - Produtos Kasfloor .....	40
Figura 18 - Joia feita com câmara de ar de pneu de bicicleta.....	40
Figura 19 - Sapato Insecta .....	41
Figura 20 - Resíduo selecionado para a pesquisa.....	42
Figura 21 - Fluxograma de obtenção do resíduo .....	43
Figura 22 - Teste com ABS .....	44
Figura 23 - Teste com PC cristal .....	45
Figura 24 - Mistura Componente A, B e partículas de borracha.....	45
Figura 25 - Amostras com diferentes porcentagens sem pressão.....	46
Figura 26 - Aglutinado de borracha.....	47
Figura 27 - Prensagem Manual (A) e hidráulica (B).....	47
Figura 28 - Amostras de compósitos obtidas aplicando pressão.....	48
Figura 29 - Aparência sólida da amostra.....	49
Figura 30 - Compósito com 70% de borracha.....	50
Figura 31 - Estética das amostras .....	50
Figura 32 - Ensaio de tração .....	52

Figura 33 - TGA das amostras de resíduos de borracha triturados, da resina e dos compósitos .....	53
Figura 34 - DSC das amostras de borracha triturada, da resina e dos compósitos.....	55
Figura 35 - Espectros FT-IR das amostras de resíduos de borracha triturados, da resina e dos compósitos. ....	56
Figura 36 - Micrografias de MEV das amostras dos compósitos de borracha e resina, com ampliação de 35 e de 200 vezes.....	58
Figura 37 - Resultados dos ensaios de tração e dureza das amostras dos compósitos de borracha e resina. ....	59
Figura 38 - Mapa de Oportunidades .....	61
Figura 39 - Análise estrutural .....	65
Figura 40 - Painel de Referência. ....	65
Figura 41 - Alternativa A .....	66
Figura 42 - Alternativa B.....	67
Figura 43 - Alternativa C.....	67
Figura 44 - Alternativa D .....	68
Figura 45 - <i>Rendering</i> digital do produto .....	68

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Focos tecnológicos observados nas publicações de patentes no mundo .....	29
Quadro 2 - Focos tecnológicos observados nas publicações de patentes no Brasil.....	30
Quadro 3 - Comparativo dos processos de reciclagem de resíduos de borrachas.....	35
Quadro 4 - Proporções da mistura de resina e borracha .....	48
Quadro 5 - Matriz de decisão .....	62
Quadro 6 - Análise de similares .....	64

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANIP	Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos
ABS	Acrilonitrila Butadieno Estireno
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
CAUQ	Concreto Asfáltico Usinado a Quente
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA)
DSC	<i>Differential Scanning Calorimetry</i>
EPDM	Borracha Etileno-Propileno-Dieno
FT-IR	Infravermelho por Transformada de Fourier
ISO	Organização Internacional de Normalização
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura
MDD	<i>Material Driven Design</i>
NBR	Borracha de Acrilonitrilo Butadieno
NR	Borracha Natural
ODS	Objetivos para o Desenvolvimento Sustentável
ONU	Organização das Nações Unidas
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
PC	Policarbonato
PU	Poliuretano
SBR	Borracha de Butadieno Estireno
TG	Temperatura de Transição
TGA	Termogravimetria
WWF	<i>World Wide Fund for Nature</i>

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
<b>1.1</b>	<b>Antecedentes da Pesquisa .....</b>	<b>13</b>
<b>1.2</b>	<b>Apresentação.....</b>	<b>13</b>
<b>1.3</b>	<b>Delimitação do Tema.....</b>	<b>14</b>
<b>1.4</b>	<b>Justificativa .....</b>	<b>16</b>
<b>1.5</b>	<b>Objetivos.....</b>	<b>17</b>
<b>1.6</b>	<b>Metodologia.....</b>	<b>17</b>
<b>2</b>	<b>CONTEXTUALIZAÇÃO.....</b>	<b>21</b>
<b>2.1</b>	<b>A empresa.....</b>	<b>21</b>
<b>2.2</b>	<b>Subprodutos.....</b>	<b>24</b>
<b>3</b>	<b>REVISÃO TEÓRICA .....</b>	<b>26</b>
<b>3.1</b>	<b>Materiais Poliméricos.....</b>	<b>26</b>
<b>3.1.1</b>	<i>Elastômeros.....</i>	<i>26</i>
<b>3.2</b>	<b>Processos de Reutilização dos Elastômeros.....</b>	<b>27</b>
<b>3.2.1</b>	<i>Análise dos Processos .....</i>	<i>35</i>
<b>3.3</b>	<b>Design para a sustentabilidade.....</b>	<b>36</b>
<b>3.3.1</b>	<i>Produtos feitos com borracha reciclada.....</i>	<i>39</i>
<b>4</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>42</b>
<b>4.1</b>	<b>Desenvolvimento do material .....</b>	<b>42</b>
<b>4.1.1</b>	<i>Resíduos de borracha.....</i>	<i>42</i>
<b>4.1.2</b>	<i>Preparação dos compósitos com resinas poliméricas .....</i>	<i>44</i>
<b>4.1.3</b>	<i>Análises das amostras .....</i>	<i>51</i>
<b>4.1.4</b>	<i>Resultados e considerações sobre as análises das amostras .....</i>	<i>53</i>
<b>4.2</b>	<b>Desenvolvimento do Produto.....</b>	<b>60</b>
<b>4.2.1</b>	<i>Brainstorming .....</i>	<i>60</i>
<b>4.2.2</b>	<i>Matriz de Decisão.....</i>	<i>61</i>
<b>4.2.3</b>	<i>Análise de similares .....</i>	<i>63</i>
<b>4.2.4</b>	<i>Geração de alternativas .....</i>	<i>66</i>
<b>4.3</b>	<b>Proposta escolhida .....</b>	<b>68</b>
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>70</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>72</b>
	<b>APÊNDICE A - DETALHAMENTO TÉCNICO DA CAMA PET.....</b>	<b>79</b>

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Antecedentes da Pesquisa

A pesquisadora tem experiência profissional em design de produtos, em especial nas fases de conceituação, modelagem 3D, materiais e acabamentos. Também possui experiência com projetos acadêmicos de design, voltados para a educação ambiental marinha, por meio de tecnologias de fabricação digital bem como o uso da fabricação digital para tecnologia assistiva.

A motivação para a escolha do tema parte da busca de encontrar uma alternativa mais sustentável para o resíduo elastomérico gerado pela empresa de artefatos de borracha. Parte também da crença de que a utilização das matérias-primas extraídas da natureza deve ter seu ciclo de vida ampliado ao máximo, seja por motivos ambientais ou econômicos.

Sendo um projeto que lida com um caso real e tão próximo geograficamente da pesquisadora, a pesquisa torna-se muito atraente pelo impacto que pode causar, ao se alcançar os resultados esperados.

## 1.2 Apresentação

Polímeros, popularmente conhecidos como plásticos, são materiais muito consumidos hoje em diversos mercados como o da construção civil, artigos de comércio em atacado e varejo, automóveis e autopeças, máquinas e equipamentos, eletrodomésticos, móveis, perfumaria, higiene e limpeza, entre outros segmentos.

Em 2020 a produção de polímeros no mundo foi cerca de 367 milhões de toneladas, sendo a Ásia a principal produtora com 51% da produção total. Grande parte desse material é descartado inadequadamente após o seu primeiro uso. Na Europa, por exemplo, foram produzidas 62 milhões de toneladas de polímeros em 2018. Porém, apenas 9,4 milhões de toneladas foram recicladas. Sendo assim, o destino do material não reciclado é a sua utilização para geração de energia (coprocessamento), ou é enviado para os aterros industriais ou sanitários ou é descartado direto no meio ambiente, contaminando solos, águas e ar (PLASTICS EUROPE, 2021).

No Brasil, as resinas poliméricas são geradas, principalmente, a partir do petróleo, da reciclagem dos mesmos e de algumas fontes alternativas (ABIPLAST, 2021). Em 2019, o Brasil produziu 8,2 milhões de toneladas de resinas termoplásticas e 7,1 milhões de toneladas de plásticos transformados. Apenas 10,2% (838.500 ton.) desse material foi reciclado (ABIPLAST, 2021).

Entre os tipos de polímeros estão os elastômeros, conhecidos como borrachas, que possuem como característica a capacidade de serem alongados por várias vezes seu comprimento e depois retornarem ao seu comprimento original. Alguns dos usos deste material incluem: fabricação de pneus; absorvedores de choques e energia; isoladores; esteiras transportadoras; revestimentos de teto; vedantes e selantes estruturais; entre outros (LESKO, 2012).

### **1.3 Delimitação do Tema**

Assim como os demais tipos de polímeros, os elastômeros também são regularmente descartados após o primeiro uso. Grande parte dos polímeros elastoméricos empregados na indústria é de difícil reuso ou reciclagem. Em sua maioria, são materiais termofixos, que apresentam estrutura química com ligações cruzadas entre moléculas, dificultando a sua remoldagem por aquecimento. Além disso, são materiais de difícil decomposição.

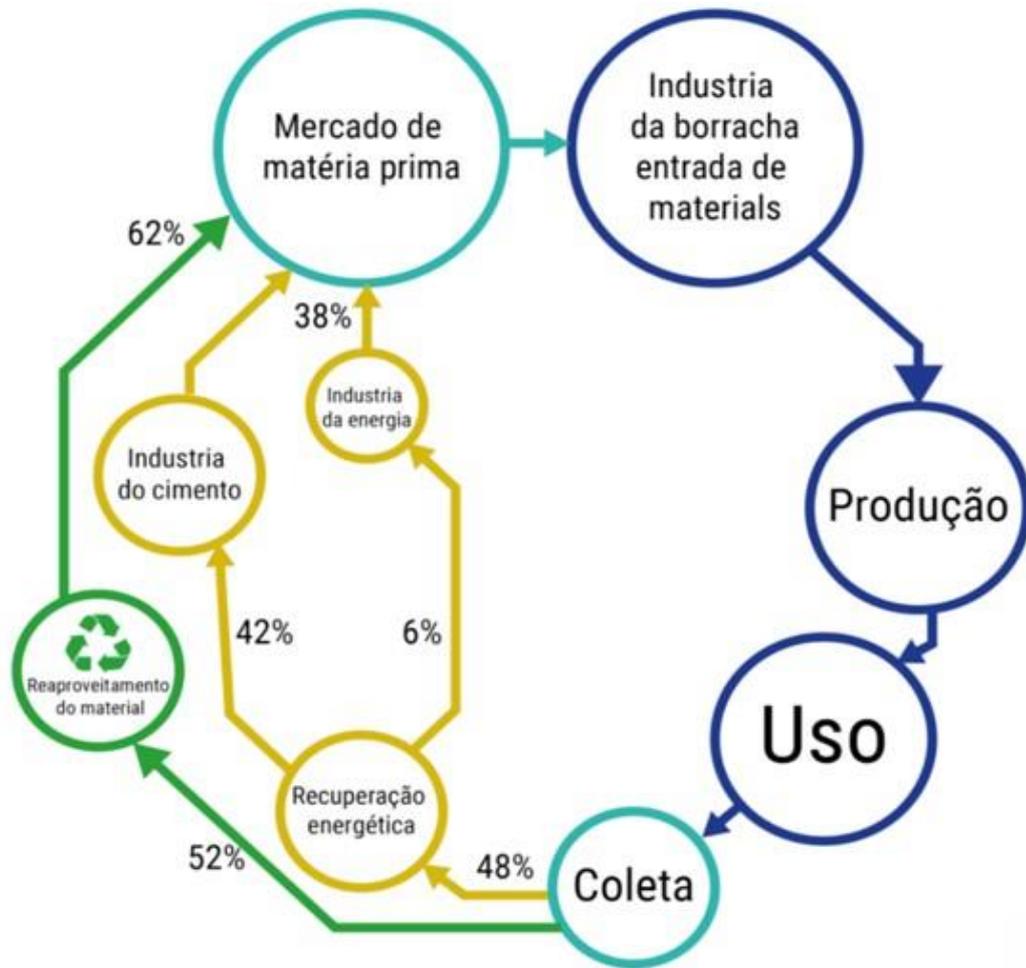
Devido a esta dificuldade, Andrietta (2002) afirma que os rejeitos elastoméricos quase sempre são depositados em locais inadequados. O que causa uma série de problemas como o assoreamento de rios, a proliferação de insetos peçonhentos e a liberação de gases poluentes quando queimados. Assim, uma opção mais adequada para o meio ambiente seria o reaproveitamento desse material pelo próprio setor produtivo.

Com o intuito de reduzir esses impactos socioambientais, é possível adotar a economia circular, uma forma de desenvolvimento econômico que visa um melhor uso dos recursos naturais. Isso permite otimizar os processos de fabricação, deixando-os com menor dependência de matérias-primas virgens, priorizando materiais mais duráveis, recicláveis e renováveis.

Na Europa, a economia circular dos elastômeros já está mais organizada. Em 2018, somando os 32 países europeus, foi possível coletar e tratar 91% dos elastômeros e pneus, resultando no total em 3,26 milhões de toneladas recolhidos. Deste material, 48% foram utilizados para recuperação de energia, sendo 6% utilizado realmente na indústria da energia e 42% na indústria do cimento. Do material coletado, os outros 52% foram reaproveitados ou reciclados (ETRMA, 2019).

Segundo a Associação Europeia de Fabricantes de Pneus e Borrachas (ETRMA, 2019), o ciclo de vida adotado por lá segue o fluxo da Figura 1. É possível observar que os principais destinos da borracha são para o reaproveitamento de materiais (52%) e recuperação energética em cimenteiras ou usinas de energia (48%).

Figura 1 - Ciclo de Vida da Borracha na Europa



Fonte: adaptado de ETRMA (2019, s.p.)

Esse trabalho aborda especificamente o problema voltado aos resíduos gerados no processo produtivo de componentes elastoméricos de uma empresa de Joinville/SC, que produz artefatos de borracha e juntas com diversas composições e formatos. Com isso, essa pesquisa busca uma alternativa para utilização dos resíduos elastoméricos, reintroduzindo-os em um novo ciclo de vida por meio do desenvolvimento de um material e sua posterior aplicação em um produto de uso cotidiano.

Para o desenvolvimento do material a partir dos resíduos de borracha foram realizados testes com alguns tipos materiais poliméricos como matriz e realizadas análises de caracterização física e química dos materiais utilizados e compostos obtidos para subsidiar sua aplicação no design de um produto adequado às suas características.

## 1.4 Justificativa

Pode-se afirmar que esse projeto contribui com os objetivos e metas do desenvolvimento sustentável (ODS) 12 — Consumo e Produção Responsáveis, com destaque para a meta 12.2 “Até 2030, alcançar a gestão sustentável e o uso eficiente dos recursos naturais”; 12.4 “Até 2030, alcançar o manejo ambientalmente saudável dos produtos químicos e todos os resíduos, ao longo de todo o ciclo de vida destes, de acordo com os marcos internacionais acordados, e reduzir significativamente a liberação destes para o ar, água e solo, para minimizar seus impactos negativos sobre a saúde humana e o meio ambiente”; e 12.5 “Até 2030, reduzir substancialmente a geração de resíduos por meio da prevenção, redução, reciclagem e reuso” (ONU, 2016).

A relevância desse projeto está atrelada ao fato de que o mundo está em uma crescente produção de polímeros. Da mesma forma, o aumento da população tem elevado o consumo de produtos feitos de materiais não biodegradáveis, com taxas de reuso ou reciclagem aquém do necessário. Assim, gera-se uma crise ambiental desses rejeitos onde o tema sustentabilidade se tornou uma tendência (MORAIS, 2016).

De acordo com os pesquisadores Marshall e Farahbakhsh (2013), a gestão de resíduos sólidos urbanos é uma preocupação global. Com aumento das populações urbanas e mudanças nos padrões de consumo, questões do meio-ambiente e de saúde estão tornando-se urgentes, em particular nos países em desenvolvimento. Os quais apresentam problemas ambientais acentuados, principalmente por não existirem políticas públicas que tratem os problemas ambientais de maneira prioritária e emergencial.

Segundo o *World Wide Fund for Nature* (WWF, 2019), o Brasil é o 4.º país do mundo que mais produz lixo plástico. Por isso, o trabalho tem grande importância para tentar minimizar esses impactos na realidade brasileira, mais especificamente na cidade de Joinville/SC. A reciclagem tem sido uma ferramenta que possibilita transformar rejeitos em produtos para serem utilizados mais de uma vez. Países mais desenvolvidos estão mais avançados na construção de uma cultura mais sustentável e obtido um consenso sobre a preservação dos recursos naturais e da minimização do descarte de detritos.

No Brasil, ainda há um grande mercado a ser explorado, tanto para reciclagem quanto para o reuso de insumos. A respeito do reuso da borracha, Buss *et al.* (2017) afirmam que o material já vem sendo reutilizado de forma bruta ou processada na construção de quebra-mares, equipamentos de *playground*, barreiras de estrada, para-choques, isoladores, tapetes, entre

outros. Utilizar a logística reversa deste material pode promover não só um benefício ambiental, mas também econômico para os *stakeholders* envolvidos.

A empresa MicroJuntas apresenta um grande potencial para uma ação de reaproveitamento de materiais elastoméricos. Seus processos geram cerca de 40 toneladas de resíduos por mês, somente na fabricação dos artefatos de borracha. Atualmente, a maior parte dos subprodutos gerados é encaminhada à incineração para a recuperação energética. Uma parcela menor também pode ser encaminhada a um aterro industrial, a depender de sua natureza química.

Além disso, os consumidores têm se tornado mais atentos às posturas que as instituições têm tomado e buscam consumir de empresas que adotem políticas ambientais. Assim a reciclagem da borracha é um investimento que pode aumentar o faturamento da empresa que possui essa prática bem como favorecer a sua imagem no mercado. Ao investir em tecnologia é possível reciclar os polímeros e manter ou até mesmo melhorar suas características físicas e químicas (SOARES *et al.*, 2019).

## 1.5 Objetivos

O objetivo geral desse projeto é desenvolver uma proposta de reutilização de um resíduo elastomérico gerado no processo de produção da empresa MicroJuntas de Joinville/SC.

Como objetivos específicos podem ser destacados:

- a) Analisar e identificar os resíduos elastoméricos produzidos pela empresa;
- b) Identificar técnicas e processos para o aproveitamento dos resíduos;
- c) Desenvolver material a partir dos resíduos elastoméricos;
- d) Propor um produto passível de produção em larga escala a partir do material obtido.

## 1.6 Metodologia

Esse projeto tem uma abordagem qualitativa, uma vez que aborda o desenvolvimento do produto e a importância do aproveitamento de resíduos de forma predominantemente não quantificável. Quanto à sua natureza, pode ser considerada pesquisa aplicada, principalmente por focar em um problema específico, local e com intenção de aplicação. Também apresenta objetivos exploratórios, uma vez que busca entender o problema para então desenvolver meios e tecnologias que permitam reaproveitar o material, aplicando-o no desenvolvimento de um produto (COLLADO, SAMPIERI, LUCIO, 2013).

A proposta foi inicialmente pensada sob o prisma da Teoria da Mudança (THE CENTER OF THEORY OF CHANGE INC, 2019), que é um conceito de atuação no ecossistema de empreendedorismo social, oferecendo visão ampla da evolução de um projeto. A Teoria da Mudança busca definir o impacto que o empreendimento quer causar como um objetivo bem definido, para em seguida, desenvolver os passos necessários para a consecução das metas. Desta forma, a ferramenta mapeia a sequência lógica de atividades, recursos, objetivos, resultados e impactos esperados, tendo em mente sempre a visão a longo prazo. A Figura 2 apresenta o delineamento das etapas/passos desenvolvidos.

Figura 2 - Etapas da Teoria da Mudança



Fonte: a autora

De maneira geral, o desenvolvimento dessa pesquisa é pautado na *Design Science Research* (DSR) ou *Constructive Research* que é voltada a orientar pesquisas que pretendem desenvolver artefatos por meio do conhecimento científico. Geralmente, o resultado de pesquisas com essa metodologia envolve inovações para problemas pontuais do “mundo real”, aproximando a teoria da prática (FORMOSO, 2015).

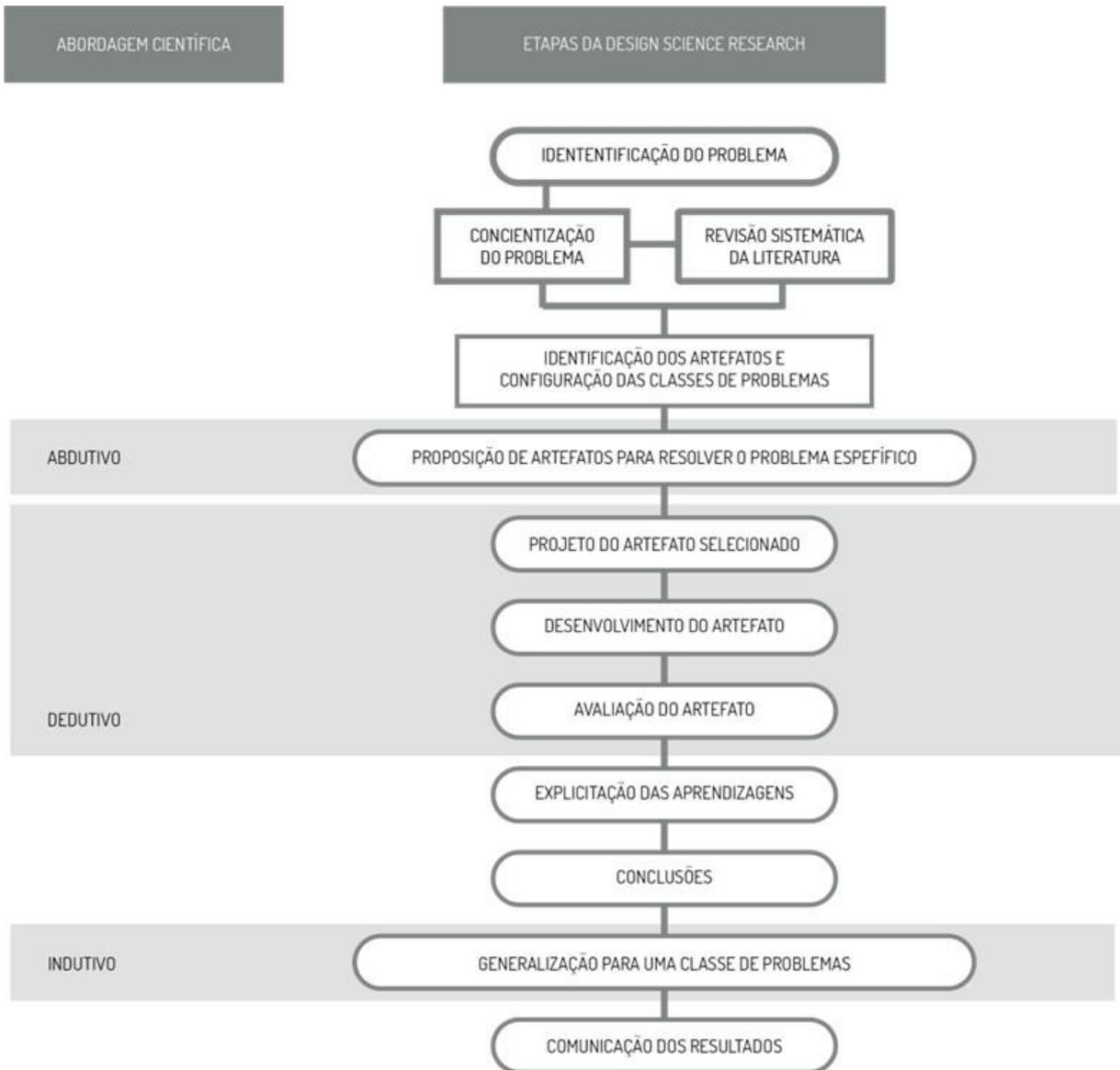
Nessa metodologia a pesquisa passa por três momentos científicos: abdução; indutivo; e dedutivo. O primeiro se fundamenta em premissas e na inferência de uma ideia formada a partir de dados previamente constatados ou observados. O segundo utiliza a dedução, leis e

teorias universais e, com isso, o cientista é capaz de construir conhecimentos para explicar e prever o comportamento do objeto de pesquisa. Por fim, o terceiro consiste em estudar fatos e propor uma teoria para explicá-los (DRESH; LACERDA; ANTUNES, 2015).

A DSR também propõe 12 etapas (Figura 3), descritas por Dresh, Lacerda e Antunes (2015) como:

- Identificar o problema — entender a importância e justificar a necessidade de estudar e desenvolver a pesquisa;
- Conscientização do problema e revisão sistemática da literatura — buscar o máximo de informação sobre o problema e fazer pesquisa em bases científicas;
- Identificação dos artefatos e configuração das classes de problemas — identificar e pesquisar sobre os produtos já existentes que podem solucionar ou que resolvam parte do problema;
- Proposição de artefatos para resolução do problema — etapa em que o investigador raciocina sobre o contexto do problema e as possíveis soluções para aprimorar a situação;
- Projeto do artefato — descrição das etapas para o desenvolvimento do projeto;
- Desenvolvimento do artefato — Fabricação/prototipação do produto;
- Avaliação do artefato — Utilizar o produto em seu contexto e ver se ele atingiu o resultado esperado, em caso de não atingir os requisitos de projeto é recomendado voltar a pesquisa para tentar novamente solucionar o problema;
- Explicitação das aprendizagens e conclusão — expor os pontos que levaram ao sucesso ou ao insucesso e concluir mostrando todos os resultados da pesquisa;
- Generalização de uma classe de problemas e comunicação dos resultados — trazer os resultados que podem ser aplicados novamente em outras situações similares e comunicar a pesquisa através da publicação.

Figura 3 - Etapas da metodologia *Design Science Research*



Fonte: Adaptado de Dresh, Lacerda e Antunes (2015, p.124).

## 2 CONTEXTUALIZAÇÃO

### 2.1 A empresa

O foco do estudo é a instituição MicroJuntas Indústria e Comércio Ltda., uma empresa de pequeno porte localizada em Joinville, Santa Catarina. A fachada dessa empresa pode ser visualizada na Figura 4.

Figura 4 - Entrada da empresa Microjuntas Ltda.



Fonte: *Google Street View* (2019)

A empresa produz artefatos em Borracha Natural (NR), fluorada, hidrogenada, Borracha de Acrilonitrila-Butadieno (NBR), Borracha de Butadieno-Estireno (SBR), Borracha Etileno-Propileno-Dieno (EPDM), silicone e outras. Os principais produtos fabricados pela empresa são juntas de precisão (Figura 5) em papelão hidráulico, fibra celulósica, aço ou alumínio (revestido com borracha), poliéster, lãs industriais, papel grafitado e outros materiais. Também fabrica isolantes elétricos (MICROJUNTAS, 2015).

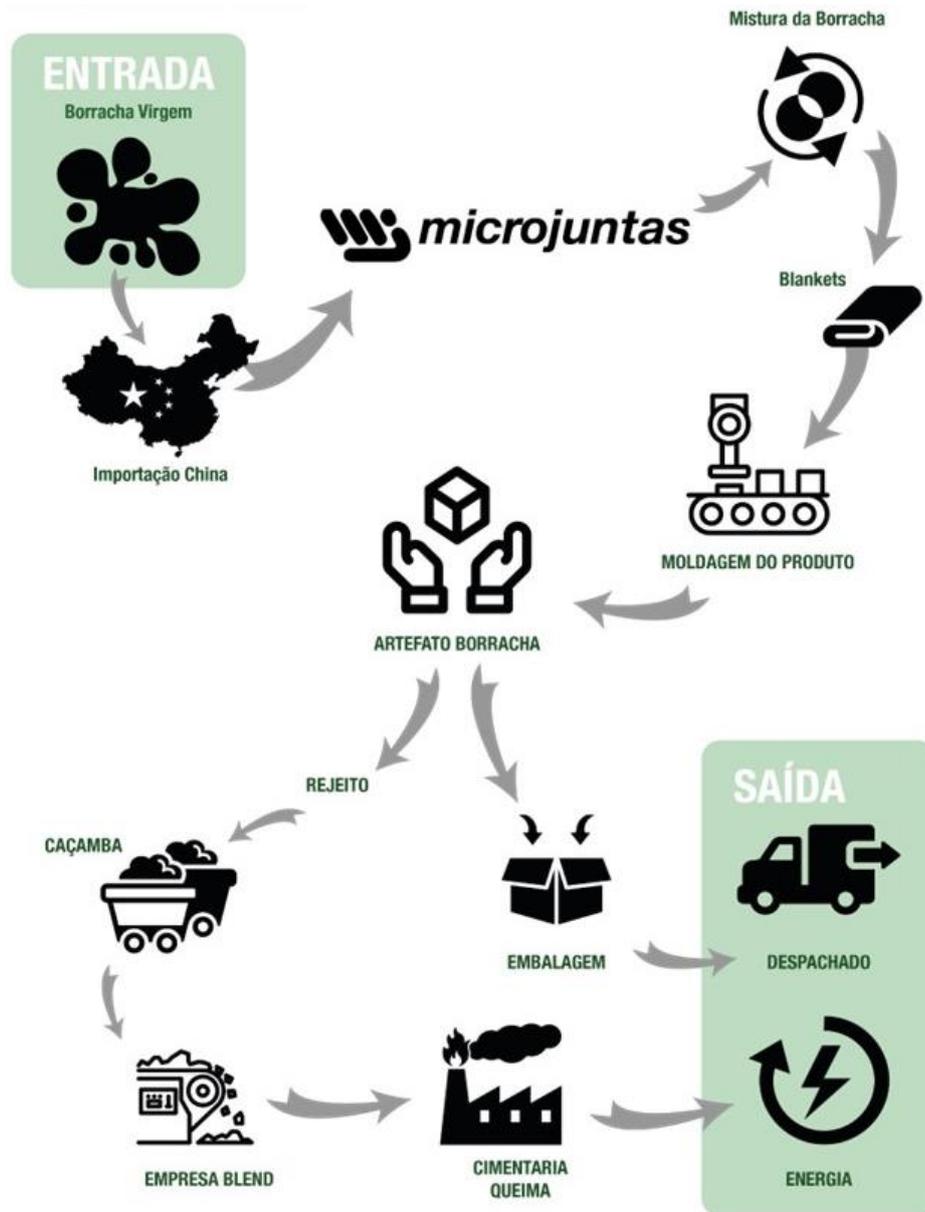
Figura 5 - Juntas de precisão



Fonte: Micro Juntas (2015). Disponível em <https://www.microjuntas.com.br/juntas.php>.

A empresa possui uma equipe que fabrica produtos e realiza formulações específicas para cada cliente. Assim, os aditivos adicionados à borracha correspondem às necessidades dos clientes criando uma grande variedade de materiais. A figura 6 apresenta um esquema do processo de fabricação como um todo.

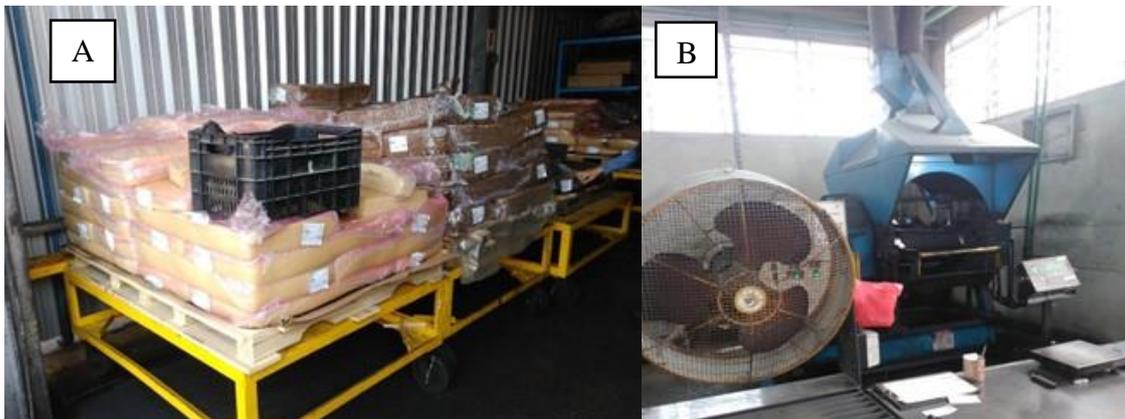
Figura 6 - Processos dentro da empresa MicroJuntas



Fonte: a autora

De maneira mais detalhada, o processo de fabricação da MicroJuntas começa na compra da borracha virgem que é adquirida no exterior, principalmente na China. O material virgem é misturado com aditivos em cilindros (Figura 7).

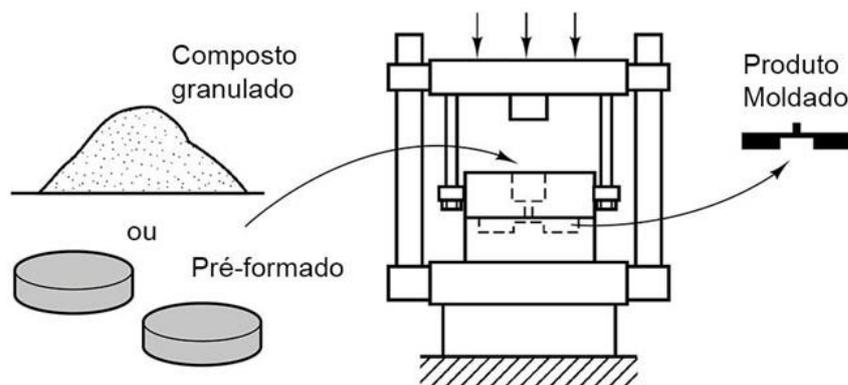
Figura 7 - Material Virgem (A) e Cilindro para mistura (B)



Fonte: a autora.

Após a mistura com os aditivos, o produto obtido é uma massa que é cortada em mantas (*blankets*) adequadas ao tamanho e formato do molde no qual será processado (quadrado ou redondo). Seguindo para o processamento do material, a moldagem dos produtos pode ocorrer por compressão, por injeção ou por transferência, a depender da forma a ser produzida e da quantidade. A moldagem por transferência (Figura 8) tem a vantagem de permitir a moldagem de uma grande quantidade de peças por vez, o que a torna um processo muito utilizado pela empresa.

Figura 8 - Moldagem por transferência



Fonte: Adaptado Black e Kohser (2019, p. 361).

## 2.2 Subprodutos

Os processos de moldagem dos artefatos de borracha geram resíduos (Figura 9). No total, chega-se a cerca de 40 toneladas/mês de resíduos de borracha que são destinados ao coprocessamento e/ou aterros industriais. Com esse cenário, desperta a consciência que esse material pode ter um outro uso para beneficiar o desenvolvimento sustentável da empresa e da comunidade.

Figura 9 - Exemplos de subprodutos da empresa MicroJuntas



Fonte: a autora.

De maneira geral, a moldagem por transferência é a que gera mais desperdício de material, pois o pré-formado não é deslocado totalmente para as cavidades do molde, gerando uma placa polimerizada como resíduo (Figura 10).

Figura 10 - Resíduo da manta pré-moldada



Fonte: a autora.

Além disso, os produtos moldados passam por um processo de tamboreamento criogênico para retirada de rebarbas (Figura 11). Esse processo também gera resíduos.

Figura 11 - Tamboreamento Criogênico



Fonte: a autora

Alguns produtos passam por limpeza utilizando o ar comprimido. Nesse momento são geradas as rebarbas, em forma de grânulos (migalhas) que são descartadas posteriormente. Os produtos então são embalados e despachados. Já os resíduos são levados para “caçambas” que são regularmente coletadas pela empresa Momento Engenharia Ambiental, localizada na cidade de Blumenau/SC. Lá os rejeitos são processados com *blends* (misturas), que são levados em seguida às cimenteiras, onde é realizada a queima para recuperação energética. Neste processo não há separação por tipo de resíduo, sendo misturadas borrachas de diversos tipos e geometrias.

Nota-se que há uma oportunidade de transformar os rejeitos passíveis de reutilização em matéria-prima para a fabricação de novos produtos, prolongando seu ciclo de vida útil, como meio de estimular o desenvolvimento sustentável da economia. Entende-se que a partir da proposição de bens e serviços que comuniquem uma estratégia de busca por soluções sustentáveis, é possível estimular o consumo consciente e a cultura da sustentabilidade.

Com isso, foi investigado as características dos materiais que são descartados pela empresa, no caso materiais elastoméricos, bem como buscar conhecer os processos que já são adotados em outras iniciativas de reaproveitamento dos elastômeros.

### 3 REVISÃO TEÓRICA

#### 3.1 Materiais Poliméricos

Os polímeros são definidos por suas funções químicas, como a do carbono, que é quase sempre o átomo central da sua formação molecular. Eles são formados pela união de moléculas menores (monômeros) em cadeias longas num processo chamado de polimerização. São materiais com características distintas sendo polimorfos, podem ser rígidos ou flexíveis. Sua industrialização aconteceu aceleradamente, tornando-se um dos símbolos da sociedade do consumo (KULA *et al.*, 2012).

Podem ser classificados de diversas maneiras, tendo como os dois grandes grupos: os termoplásticos e os termofixos (ou termorrígidos). Os termoplásticos “amolecem quando são aquecidos e endurecem quando resfriados, apresentando um comportamento semelhante ao da manteiga ou ao do chocolate”. Com essa característica são capazes de ser reciclados facilmente, quando não possuem muitos aditivos em sua composição. Sobre os termofixos, os autores descrevem que “são enrijecidos pela ação do calor, em um comportamento análogo ao de uma massa de bolo”, ao passar pelo processo de cura o material não pode mais ser revertido ao primeiro estado (KULA *et al.*, 2012).

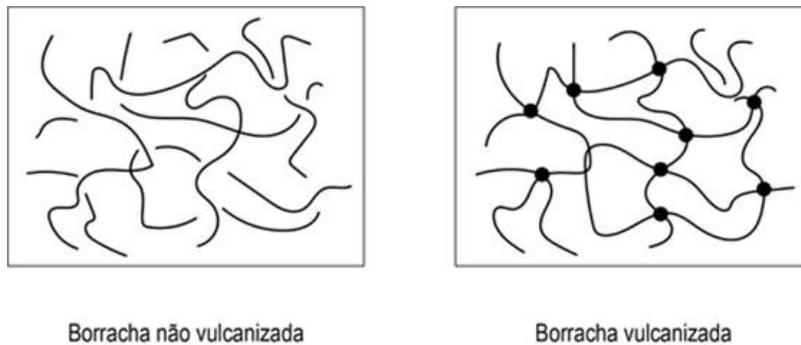
##### 3.1.1 Elastômeros

Os elastômeros são polímeros com grande elasticidade, ou seja, podem ser alongados e retornar a sua forma original com o alívio da tensão. Segundo Lesko (2012), além de suportar ser esticado, os elastômeros têm como característica sua resistência à abrasão, boa retenção de propriedades quando expostos ao calor, oxidação e ozônio, boas propriedades elétricas e excelente impermeabilidade a gases. São comumente formados por mais de um monômero e, em grande parte, termofixos, ou seja, não podem ser aquecidos e remoldados. As ligações cruzadas entre as moléculas funcionam como âncoras, que impedem o derretimento do material (MARKL; LACKNER, 2020).

A borracha natural é um exemplo conhecido desse grupo de materiais. É produzida a partir da seiva da seringueira (látex) e ainda ocupa uma parte considerável dos elastômeros utilizados. A borracha virgem é quando ainda não foi vulcanizada, ou seja, quando não passou pelo processo de vulcanização, que é a adição de enxofre à borracha, sob aquecimento e com o uso de catalisadores (THOMPSON, 2015).

Segundo Paulo e Saron (2009), a estrutura química do material é o que dá aos elastômeros suas propriedades elásticas. Os elastômeros são formados por cadeias poliméricas longas que ao serem vulcanizadas, ficam emaranhadas, formando as ligações cruzadas (Figura 12) que se alongam mais sob tensão, resultando em uma redução de entropia do sistema. Por não ser um processo espontâneo, as cadeias poliméricas voltam à condição de emaranhado quando a tensão é retirada do material, causando sua contração.

Figura 12 - Ligações cruzadas da borracha vulcanizada



Fonte: adaptado de Brito (2009, p. 18)

Os autores ainda afirmam que, para que um polímero possa ser classificado como um elastômero ele deve atender alguns critérios:

- Ser amorfo ou apresentar grau reduzido de cristalinidade;
- Possuir cadeias longas (massa molecular elevada);
- Apresentar transição vítrea em temperaturas suficientemente abaixo da temperatura ambiente;
- Apresentar pontos de reticulação entre as cadeias poliméricas de maneira a impedir o escoamento viscoso do material quando este for submetido à tensão.

### 3.2 Processos de Reutilização dos Elastômeros

O alto custo de compra da borracha natural já tem sido um estímulo para a reciclagem desde o crescimento do produto na indústria. Com registros datados em 1909, na Alemanha, já realizada a trituração e a separação da borracha, que disponibiliza o subproduto, para as próprias indústrias que produziam produtos de borracha. Com a falta de investimento e tecnologia da época foi perdendo-se o interesse em realizar essa reciclagem (LAGARINHOS; TENÓRIO, 2008).

No contexto atual, como mencionado, muitos elastômeros são termofixos, o que dificulta muito a sua reutilização. Quando uma borracha se torna rejeito, existem alguns destinos para ela e um deles é na compostagem para a criação de adubo, na qual os resíduos da borracha, podem ser cortados para auxiliar na aeração dos compostos orgânicos, mas antes de o adubo ser comercializado o material é retirado (GONZALEZ; SANTANA, 2012).

Outro destino é a recuperação energética por meio da incineração. Atualmente, é um dos principais caminhos adotados pela empresa MicroJuntas e por outras empresas para o descarte. A incineração é uma forma de reaproveitamento energético do material, rendendo um poder calorífico que pode ser até mais alto do que a queima de carvão, mas para isso deve haver procedimentos para evitar as emissões de poluentes para a atmosfera.

Por fim, o aterro sanitário industrial é outra saída. Segundo a Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010), é permitida a disposição final dos resíduos nos aterros, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança para minimizar impactos ambientais. No entanto, é importante reforçar que, em lixões, aterros que não são industriais e outros lugares abertos é proibido o depósito de borracha, onde então é necessário adotar um procedimento de reciclagem (GONZALEZ; SANTANA, 2012).

O pneu é um dos produtos de borracha vulcanizada mais consumidos no mercado, contribuindo em grande volume do lixo nacional desse material. Segundo Salini (2000), os pneus têm uma alta porcentagem de resina elastomérica na sua composição. Após o uso, é frequentemente depositado em aterros sanitários. Por ser um produto que ocupa muito espaço, muitas vezes é queimado liberando gases tóxicos que causam chuvas ácidas entre outros problemas ambientais como a proliferação de insetos e ratos. Quando reutilizado, o principal destino do pneu é após ser moído é utilizado na fabricação de pavimentação asfáltica.

Conforme a Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) n.º 416 de 30/09/2009 (BRASIL, 2009) é vedada a disposição final de pneus no meio ambiente, tais como: o abandono ou lançamento em corpos de água; terrenos baldios ou alagadiços; e a disposição em aterros sanitários e a queima a céu aberto. A Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos (ANIP), desenvolveu e implementou o *Programa Nacional de Coleta e Destinação de Pneus Inservíveis*, determinando que todos os fabricantes nacionais de pneus arcassem com a logística reversa, além das despesas de coleta e destinação desses materiais (BRASIL, 2009).

Após a coleta, estes pneus vão para trituração e podem ser reaproveitados, por exemplo, em solados de sapato, na fabricação de asfalto, como combustível, entre outros. O correto descarte assim como o processo de reciclagem de pneus é muito importante para o meio ambiente, pois ainda não se sabe exatamente quanto tempo eles levam para se decompor na natureza.

Em um levantamento feito por Carvalho *et al.* (2014), foram analisados aproximadamente 6 mil registros de patentes no mundo (Quadro 1). Os principais focos de reciclagem da borracha são o uso de solventes seletivos para os componentes poliméricos ou tratamento exclusivo de calor seco, que seria um processo térmico. Em segundo lugar em registros de patentes está a destruição ou transformação do material em algo útil, ou inofensivo. Em terceiro, a granulação do material e em quarto a granulação na forma de material filamental.

Quadro 1 - Focos tecnológicos observados nas publicações de patentes no mundo

Posição	Descrição
1	Recuperação ou aproveitamento de polímeros residuais sem reações químicas usando solventes para os componentes do polímero ou pelo tratamento exclusivo de calor seco
2	Reaproveitamento ou recuperação de polímeros residuais contidos no lixo sólido pela destruição ou transformação do material polimérico em algo útil ou inofensivo
3	Desintegração de polímeros residuais por facas tipo rotativas dentro de recipientes ou outros elementos de cortar ou rasgar que transformam o material polimérico em fragmentos - granulação ou picotamento
4	Fabricação de grânulos pela divisão de material pré-formado na forma de material filamental, p.ex., combinado com extrusão

Fonte: adaptado de Carvalho *et al.* (2014, p. 6)

Já no Brasil (Quadro 2), o mesmo estudo apontou que o foco das patentes está concentrado no uso de solventes seletivos para os componentes poliméricos ou tratamento exclusivo de calor seco. Em segundo lugar na formação de pré-formados por injeção ou extrusão. Em terceiro lugar na granulação do material e na granulação na forma de material filamental. E por fim em quarto a destruição ou inertização do material.

Quadro 2 - Focos tecnológicos observados nas publicações de patentes no Brasil

Posição	Descrição
1	Recuperação ou aproveitamento de polímeros residuais sem reações químicas usando solventes para os componentes do polímero ou pelo tratamento exclusivo de calor seco
2	Fabricação de pré-formados por injeção ou extrusão;
3	Fabricação de grânulos pela divisão de material pré-formado na forma de material filamentar, p. ex., combinado com extrusão;
4	Reaproveitamento ou recuperação de polímeros residuais contidos no lixo sólido pela destruição ou inertização do material polimérico.

Fonte: adaptado de Carvalho *et al.* (2014, p. 6)

Existem diversos estudos sobre a reciclagem dos elastômeros e por isso pode-se aplicar diferentes processos. Esses processos têm sido estudados em âmbitos da termomecânica, química, baseada em ultrassom, assistida por micro-ondas e por métodos de desvulcanização biológica entre outros que serão citados na sequência (MARKL; LACKNER, 2020).

Os processos **térmicos** de reciclagem de elastômeros são aqueles em que se aplica temperatura elevada e se utiliza uma autoclave. Para realizar este procedimento, primeiramente, os resíduos são transformados em migalhas ou pó para aderir melhor ao solvente e reagentes. Em seguida, os resíduos e solventes/reagentes são colocados na autoclave, a qual é selada e então aquecida a 180°C por 1h. Nesse processo, até é possível alcançar níveis de desvulcanização de até 100% para borrachas de goma, já em borrachas compostas os níveis obtidos são mais baixos (FORREST, 2014).

Sobre este processo, quando feito em grande escala, a reação de desvulcanização demora muito para ser finalizada, o processo pode ser usado de forma relativamente rápida em pequena escala, de forma controlada é um bom recurso para ser investigado e para analisar as mudanças de parâmetros como, tempo, temperatura, agentes químicos para analisar a viabilidade de escalonar (FORREST, 2014).

O processo **térmico com reagentes químicos** segue o mesmo processo citado anteriormente, mas adicionando agentes químicos buscando nestes uma assimilação na matriz da borracha que foi incorporada com solventes. A desvulcanização química pode ocorrer por óleos e reagentes químicos, em que os mais utilizados são o ácido tiosalicílico e o dissulfeto de difenilo, ou por solventes orgânicos que se baseia no uso de álcoois e cetonas como agentes e

por fim nos compostos inorgânicos utilizando como solventes o tolueno, nafta, benzeno e ciclohexano (MAGALHÃES, 2015).

Uma das alternativas para a reciclagem mecânica de elastômeros termofixos é por meio do **micro-ondas**, o qual pode ser considerado uma espécie de processo térmico, por utilizar a energia de micro-ondas para desvulcanizar a borracha através do calor. Um requisito para fazer uso desta técnica é que o composto da borracha deve ser polar o suficiente para absorver a energia das micro-ondas de uma forma eficaz. Assim, os aditivos presentes na borracha influenciam muito no resultado (MAGALHÃES, 2015).

Outra questão sobre o processo, é que pode ser difícil controlar a velocidade que a temperatura da borracha pode aumentar, sendo necessária uma unidade de resfriamento para utilizar no final do processo para remover o calor e reduzir a possibilidade de degradação do material (FORREST, 2014).

O processo **mecânico** é quando a borracha é submetida ao cisalhamento, também a temperatura acima daquela do ambiente, mas não é utilizado nenhum agente químico. A falta de agentes químicos por sua vez pode ser considerada benéfica em vários quesitos como o custo reduzido, a redução no odor, na saúde e segurança e no ponto de vista ambiental (GONZALEZ; SANTANA, 2012).

Assim como nos procedimentos térmicos, os processos mecânicos podem acrescentar agentes químicos para auxiliar a técnica. O processo **mecânico com reagentes químicos** utiliza uma substância em temperatura e pressão acima do seu ponto crítico (fluido supercrítico) que seja compatível com a borracha que está sendo desvulcanizada. Neste, a borracha dilata dentro do equipamento e facilita a desvulcanização, aumentando o efeito da moagem. Mas, diferente do processo térmico que é feito em uma autoclave, no mecânico fica mais difícil manter o fluido em um estado de desempenho alto devido a vazamentos e perda de pressão (FORREST, 2014).

Observa-se que a densidade de novas ligações cruzadas formadas durante a vulcanização subsequente ao processo de desvulcanização mecânica com reagentes químicos é maior em comparação com as que não foram dissociadas durante a desvulcanização (MAGALHÃES, 2015).

Outro procedimento é o da **micronização**, no qual o elastômero é picado e passa a ser chamado de migalha ou grânulo. O processo é feito por meio de corte, cisalhamento ou impacto, ou a combinação de um, ou mais processos. O ambiente onde é efetuada a micronização pode ser em condições úmidas, ambientais ou criogênicas. Quando o resíduo é muito grande, como os pneus, antes da etapa de moagem ou fragmentação é necessário que ele seja cortado. A

fragmentação se dá através de facas ou outro tipo de cortadores como granuladores, cortadores rotativos e trituradores, gerando pedaços de borracha com tamanho que varia de centímetros a milímetro (MAGALHÃES, 2015).

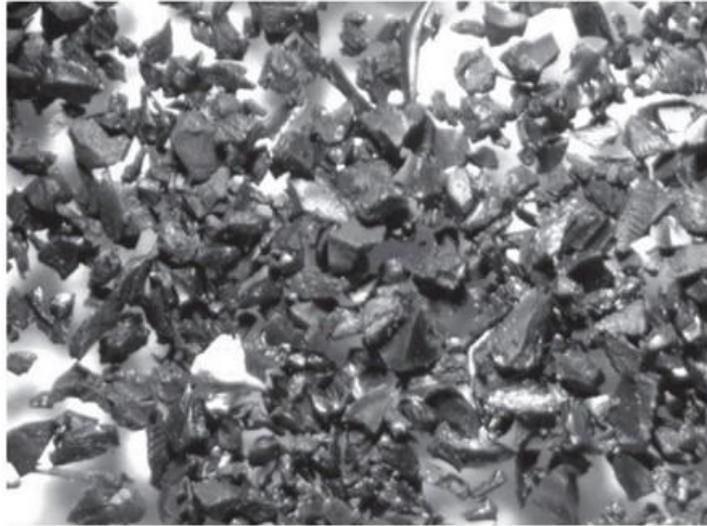
Os grânulos obtidos no processo tornam-se adequados pela pureza obtida e a sua superfície relativamente alta, sendo um ponto positivo para o processo de desvulcanização ao incorporar-se com outros materiais. Esse material é então utilizado como carga em outros polímeros, reprocessados com borracha por fusão e moldagem. Com isso, é possível gerar produtos como pisos de impacto, isolamentos, pavimentação asfáltica e semelhantes (THOMPSON, 2015).

O processo **ultrassônico** utiliza a energia captada por ondas ultrassônicas para quebrar as ligações cruzadas. São aplicados 50 kHz de ondas ultrassônicas, durante 20 minutos, na borracha vulcanizada. Mas, para a desvulcanização ocorrer de forma rápida a quebra de ligações químicas (S-S) ocasiona degradação da cadeia do polímero diminuindo o seu peso molecular. Porém, como resultado, a borracha desvulcanizada pela energia ultrassônica apresenta baixa densidade de ligações cruzadas, o que torna o material fluido e flexível, possibilitando seu uso para ser reprocessado e vulcanizado novamente. Como vantagens desse processo aparece o fato de dispensar o uso de agentes químicos, o que leva a um custo mais baixo e alguns fatores de saúde e segurança não precisam ser considerados, comparando aos outros procedimentos (FORREST, 2014; MAGALHÃES, 2015).

O processo **microbiológico** utiliza bactérias quimiolitotróficas (o termo refere-se a organismos que usam compostos químicos orgânicos e inorgânicos, e energia luminosa como fonte de energia) em um descanso aquoso com a assistência de oxigênio para atacar de forma seletiva as ligações cruzadas da borracha. A técnica age como uma biodegradação, utilizando bactérias como a Chemolithiotrope como e a Thiobacillus para a desvulcanização. O processo leva dias e atinge mais as camadas externas da borracha apresentando dificuldade de alcançar as camadas internas (MAGALHÃES, 2015).

O processo **criogênico** demanda a moagem da borracha após ser resfriada perto de sua temperatura de transição vítrea, na qual a borracha fica rígida. Estando assim, a borracha é submetida a forças de impacto e cisalhamento, e não é necessário que o material seja rasgado, resultando em grânulos de borracha entre 30 e 120 *mesh* (Figura 13). O resfriamento é feito através de gases liquefeitos (nitrogênio, azoto) ou apenas pelo ar (FORREST, 2014).

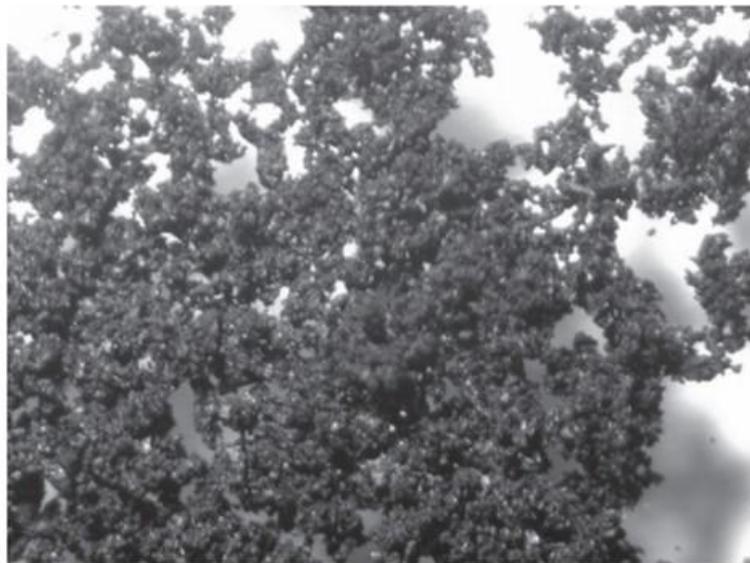
Figura 13 - Partículas de borracha produzida por um processo criogênico



Fonte: Forrest (2014, p.142)

Outra forma de fragmentar a borracha é utilizando **água em alta pressão**. Com essa técnica pode-se produzir partículas com o tamanho abaixo de  $200\mu\text{m}$ . Assim como no processo criogênico, esta técnica tem a vantagem de que o corte remove o calor da borracha que reduz a degradação do material (FORREST, 2014). Na Figura 14 é possível observar o resultado do processo, com partículas de até  $200\mu\text{m}$ .

Figura 14 - Partículas de borracha produzidas por um processo de jato de água



Fonte: Forrest (2014, p.143)

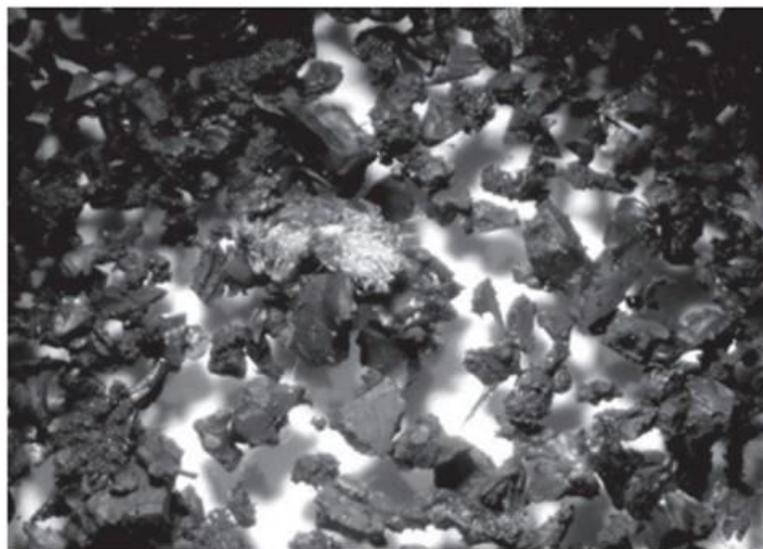
Alguns dos benefícios são: não há limitação no tamanho do rejeito, a técnica não necessita de produtos químicos, a água utilizada no processo pode ser reciclada em 75%, não demanda uso de muita energia e nem ferramentas por utilizar a água como fonte de energia. Outro ponto é que durante o processo já ocorre a separação de materiais, sendo mais fácil separar a borracha de outros materiais que estejam misturados nela (HOLKA; JARZYNA, 2017).

Como o exemplo da *Hungarian Jet*, empresa sediada em Budapeste, que desenvolveu um parque com capacidade de produzir 500 toneladas por ano de grânulos de pneus, através da fragmentação por água. Para a construção do mesmo foi necessário um investimento de 12 milhões de Euros, mas em um ano a mesma empresa teve receita líquida de 1,3 bilhão de Euros, mostrando a rentabilidade do negócio (BUDAPEST BUSINESS JOURNAL, 2021).

Outro processo de fragmentação da borracha é a moagem por **moinho Cracker**. Esta máquina utiliza um rolo com uma superfície ondulada girando para um lado e os outros rolos girando em sentido contrário e a borracha entra para a moagem por uma fresta entre os rolos. Geralmente, o material é preparado em um triturador antes de ser submetido ao moinho e ao sair deste a borracha é peneirada para separar os grânulos por tamanho (FORREST, 2014).

Este processo pode causar muita degradação gerada pelo atrito da borracha e as partículas que se grudam mesmo utilizando um agente separador. Na Figura 15 é possível ver os grânulos separados e alguns grudados, que variam entre 80 e 120 *mesh* (FORREST, 2014).

Figura 15 - Fotografia do pó de borracha moída em moinho Craker



O controle do tempo das partículas no pós-processamento é um recurso importante para evitar a sua aglomeração. O produto obtido é eficaz para substituir a borracha virgem em novos compostos de borracha (FORREST, 2014). Como resultados, um exemplo, é o uso do pó de pneu, que em misturas com termoplásticos, possui uma utilização abrangente. Pode ser usado tanto de forma tecnológica como científica, por ser possível produzir novos materiais com propriedades elásticas (COSSA; SIRQUEIRA; SOARES, 2009).

### 3.2.1 *Análise dos Processos*

A partir dos 11 processos descritos anteriormente para a reciclagem dos resíduos de borracha, o Quadro 3 apresenta cada tecnologia abordada e uma breve análise das vantagens e desvantagens analisadas para cada um deles.

Quadro 3 - Comparativo dos processos de reciclagem de resíduos de borrachas

<b>Nome</b>	<b>Tecnologia</b>	<b>Análise</b>
Térmico	Fragmentação induzida por calor	Vantagens: Processo que não necessita tanto de aparato tecnológico. Necessita de uma autoclave. Desvantagens: Demora muito em grande escala.
Térmico com reagentes químicos	Reações químicas com temperaturas elevadas	Vantagens: melhores resultados em relação ao térmico. Desvantagens: Necessita de agentes químicos.
Mecânico	Fragmentação	Vantagens: Não necessita de agentes químicos. Desvantagens: Os fragmentos podem ficar mais agrupados.
Mecânico com reagentes químicos	Fragmentação com agentes químicos	Vantagens: melhores resultados em relação ao mecânico sem reagentes. Desvantagens: Os fragmentos podem ficar mais agrupados.
Ultrassônico	Uso de energia ultrassônica	Vantagens: processo mais rápido e a borracha pode ser vulcanizada novamente. Desvantagens: Equipamentos muito específicos.
Micro-ondas	Aquecimento com energia de micro-ondas	Vantagens: uma alternativa possível. Desvantagens: Não pode ser qualquer borracha, depende da polaridade dos compostos.
Microbiológica	Microrganismos	Vantagens: Agente biodegradável. Desvantagens: Apresenta dificuldade de alcançar as camadas internas da borracha.

Micronização	Transformação em migalha	Vantagens: O material resultante apresenta superfície relativamente alta, adequada para incorporar-se com outros materiais. Desvantagens: São necessárias várias etapas para chegar na fragmentação.
Criogênico	Fragmentação com o material resfriado	Vantagens: Não se agrupam como no processo mecânico. Desvantagens: O processo encarece pelo uso de gás criogênico.
Por água	Fragmentação com jatos de água em alta pressão	Vantagens: Água do processo pode ser reciclada e a borracha não sofre degradação. Desvantagens: Utiliza um recurso natural essencial à vida.
Moinho de <i>Cracker</i>	Moagem com um moinho <i>cracker</i>	Vantagens: Saída de um material muito fragmentado. Desvantagens: Necessita do maquinário específico.

Fonte: a autora

Seguindo a análise do Quadro 3, considera-se o procedimento de micronização mais similar ao que foi aplicado no estudo. Os processos mecânico, criogênico e por água também se mostraram como boas alternativas para a reciclagem da borracha. A escolha ocorre devido às características e propriedades das amostras (aparas de produtos) obtidas pela empresa MicroJuntas que já estão fragmentadas e por não necessitar de mais ferramentas específicas para suas execuções. Além disso, este processo não utiliza reagentes químicos, fator positivo, pois podem não só ser nocivos aos seres humanos e ao meio ambiente, mas também terem um custo alto para o tratamento.

### 3.3 Design para a sustentabilidade

O conceito de sustentabilidade só começa a se formar, a partir da primeira Conferência das Nações Unidas sobre o meio ambiente e desenvolvimento, realizada em Estocolmo no ano de 1972. Onde se mostra uma grande preocupação com o crescimento populacional, assim como o processo de urbanização e a tecnologia envolvida na atividade industrial. Além disso, são lançados os fundamentos das ações ambientais em nível internacional. Essas abordam questões relacionadas à degradação ambiental, à poluição e a necessidade de assistência às comunidades e países mais pobres (ONU, 2020).

Melhorar a ação humana sobre o meio ambiente seria um objetivo a ser alcançado com o equilíbrio econômico e social da humanidade. Desde então, surgiram várias denominações pela relação entre o meio ambiente e desenvolvimento. É o caso do termo Ecodesenvolvimento, proposto inicialmente por Maurice Strong, secretário geral da primeira Conferência das Nações Unidas sobre o meio ambiente, e, em seguida, ampliado por Ignacy Sachs que incorporou aspectos importantes ao conceito, tais como, a questão da educação, da gestão participativa e ética e da preservação dos recursos naturais associados à satisfação das necessidades básicas.

A ONU, em 2015, planejou 17 ODS — Objetivos para o Desenvolvimento Sustentável do planeta para sustentar a vida atual e futura; 193 países adotaram essa agenda e o Brasil entre eles. Assim as empresas e órgãos públicos têm sido pressionados a terem valores de sustentabilidade ambiental, social e econômico em suas iniciativas e culturas na busca do ecodesenvolvimento (TRENDING WATCHING, 2019).

O atual modelo de produção, distribuição e consumo que tem sido apontado como um grande responsável por severos prejuízos ao planeta, aos seus recursos naturais e a todas as espécies vivas, além de favorecer a marginalização e a massificação das culturas. A sustentabilidade surge, nesse cenário, como uma tentativa de reverter ou pelo menos minimizar esse quadro, através da incorporação do pensamento sistêmico e de metodologias transdisciplinares que propõem novos modelos de comportamento e produção (SILVEIRA, 2011).

Tendo isso em vista, o desenvolvimento sustentável, em seu sentido mais amplo, visa a promover a harmonia entre os seres humanos e entre a humanidade e a natureza no contexto específico das crises do desenvolvimento e do meio ambiente. Nos dias de hoje, não se pode pensar numa comunidade sustentável sem considerar a inovação na cultura, nos processos produtivos, materiais e fontes renováveis olhando para todo o ciclo de vida de um produto e as pessoas envolvidas (MAURO, BORBA, 2015).

Considera-se, então, que atuar de forma ambiental e socialmente de forma responsável é, em evidência hoje, um diferencial entre as empresas no mercado. Em breve, este diferencial se tornará um pré-requisito, e quanto antes as empresas perceberem esta nova realidade, maior será a chance de se manterem no mercado (GUTBERLET, 1996; BOTH, 2017).

A Amazon e a DvF, por exemplo, no dia da mulher em 2020, lançaram uma plataforma para promover apenas mulheres empreendedoras, estimulando a igualdade de gênero. Nessa ação, Amazon e os usuários da rede eram direcionados imediatamente para os produtos dessas

empreendedoras, o que foi uma exposição, com efeito, expoente para essas pequenas empresárias (FORBES, 2020).

A Adidas, em 2015, lançou em parceria com a *Parley for the Oceans* um tênis produzido com plástico coletado no oceano, uma edição limitada de 50 pares (Figura 16). Já em 2019, foram produzidos 11 milhões de pares de tênis através da mesma parceria utilizando como matéria plásticos coletados do oceano (ADIDAS, 2015; CLIMATACTION, 2019).

Figura 16 - Tênis Adidas feito com plástico reciclado do oceano



Fonte: Parley. Disponível em: <<https://www.parley.tv/updates/2016/11/3/adidas-x-parley-the-first-performance-products-from-parley-ocean-plastic>>. Acesso: 3 de agosto de 2021

Durante a pandemia da COVID-19, muitas empresas se destacaram por tomar atitudes sustentáveis. Um caso simples foi a *Takataka Plastics*, uma startup ugandense. A empresa fez a reciclagem de polímeros termoplásticos que foram coletados na rua, e através de tecnologia aditiva de impressoras 3D fabricou máscaras de proteção, *face shield*, contra a COVID-19 (FASTCOMPANY, 2020).

As novas gerações vêm aumentando a sua preocupação com o impacto dos resíduos descartados no meio ambiente, e conseqüentemente suas decisões de compra podem ser influenciadas por tal preocupação.

O design pode participar com iniciativas sustentáveis em diversas fases na produção de um artefato, desde a pesquisa e busca por materiais renováveis até ao projetar o fim da vida do produto, estas reflexões tratam de um novo patamar de conceitos quanto à sustentabilidade de suas ideias e forma de produzir. Para que ocorra isto, metodologias, métodos e processos industriais devem passar a implementar uma política e cultura ambiental sustentável.

Neste contexto, o designer, aliado com a tecnologia, pode atuar como agente transformador usando a reutilização e reciclagem (CIDADE; CAMARGO, 2017). Com o intuito de aproveitar melhor os recursos naturais, existem metodologias que podem ser aplicadas para o desenvolvimento de produtos, como o método *Material Driven Design* (MDD), que utiliza o material como partida para o desenvolvimento de novos produtos, em que o designer primeiramente estuda as propriedades técnicas e qualitativas do material, para depois propor um novo artefato (KARANA *et al.*, 2015).

### **3.3.1 Produtos feitos com borracha reciclada**

Quando se trata de borracha, um produto amplamente consumido é o pneu. Atualmente, sua principal aplicação pós-uso é utilizá-lo em misturas asfálticas. Com esse processo, pode-se obter resultados positivos, reduzindo o custo e aumentando a durabilidade do asfalto com a borracha comparada ao Concreto Asfáltico Usinado a Quente (CAUQ). Outra forma de aproveitar os pneus é queimando-os e usando como fonte de energia substituindo o carvão (SALINI, 2000).

Outro exemplo, é o procedimento da *Hungarian Jet*, um projeto de reciclagem de borracha através de jatos de água, que segundo Forrest (2014), o processo já está sendo explorado comercialmente. O projeto tem capacidade de reciclar até 500 toneladas de elastômeros por ano. Estudos apontaram que o processo através de jato de água é capaz de produzir borrachas termoplásticas de alta qualidade, misturas com polímeros como o polipropileno, borracha e cloreto de polivinila e materiais de betume com borracha, para aplicações em pavimentação de estradas (FORREST, 2014).

Tendo isso em vista, Nunes (2015) afirma que, mesmo havendo a possibilidade de reciclar a borracha sintética, há um atraso do Brasil se comparado a outros países. Tal atraso é mais significativo se for desconsiderada a reciclagem de pneus focando-se nos outros produtos fabricados em borracha. No Brasil, o parque industrial de produção de borracha está defasado. Para facilitar a reciclagem, uma modernização tecnológica e da gestão da produção deveria ser feita, facilitando, portanto, o reaproveitamento.

Além disso, o descarte de artefatos de borracha deve ser levado a sério pela indústria que deve investir na reciclagem de seus produtos e pensar em formas alternativas para o ciclo de vida de produtos que atingiram o final de sua vida útil (NUNES, 2015).

A empresa Kasfloor, uma das maiores empresas do mercado brasileiro que utiliza a borracha reciclada produzindo e comercializando, ela possui uma linha de produtos (Figura 17) com vários modelos de pisos para playground e academias, também produz anilhas utilizando a borracha recicladas e vasos para plantas (KASFLOOR, 2021).

Figura 17 - Produtos Kasfloor



Fonte: Adaptado Kasfloor. Disponível em: <<https://kasfloor.com.br>>. Acesso: 19/09/2021.

Outras pesquisas acadêmicas têm buscado formas de reutilizar a borracha, como a de Camargo et al. (2018), que utilizou câmaras de ar, retiradas de pneus de bicicletas, no projeto de jóias artesanais (Figura 18). O resultado é de um produto com valor agregado. Mas pela característica da fabricação artesanal não é viável produzi-lo em grandes escalas.

Figura 18 - Joia feita com câmara de ar de pneu de bicicleta



Fonte: Camargo *et al.* (2018, p. 12)

Lima, Dias, Oliveira e Halasz (2014) utilizaram a borracha proveniente da recauchutagem de pneus para a confecção de placas isolantes termoacústicas compostas por borracha, resina PVA e compensado de madeira. Segundo os autores o material composto apresentou um bom desempenho termoacústico. Outra empresa que já está comercializando produtos com borracha reciclada é a Insecta que produz sapatos (Figura 19) com materiais reutilizados, em cada par são utilizados 0,22 kg de borracha reciclada no solado, o restante do sapato é feito de Polietileno reciclado (ISECTA, 2020).

Figura 19 - Sapato Insecta



Fonte: Insecta (2020). Disponível em:< [shorturl.at/hrzAX](http://shorturl.at/hrzAX) >. Acesso em: 19/09/2021

Percebe-se assim que há interesse no mercado nacional para a produção e comercialização de produtos com que tenham um apelo sustentável ambiental sendo produzidos com materiais reciclados de borracha.

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 Desenvolvimento do material

Na etapa dedutiva da DSR foi desenvolvida uma proposta de reutilização de um resíduo elastomérico gerado no processo de produção da empresa. Esta fase envolve desde a escolha para o tratamento do material até a apresentação de um produto passível de produção com o composto obtido no estudo.

#### 4.1.1 Resíduos de borracha

Para o estudo foi selecionado um resíduo que já se apresenta na forma de migalhas, oriundo da etapa de acabamento de artefatos gerados na empresa Microjuntas (tamboreamento criogênico). Isso se deve a sua disponibilidade para testes, sem a exigência de equipamento específico para micronização. Esse resíduo contém uma mistura de várias formulações de borrachas diferentes, uma vez que vários produtos passam por esse processo e não há uma separação. Uma amostra desse resíduo pode ser visualizada na Figura 20.

Figura 20 - Resíduo selecionado para a pesquisa



Fonte: a autora.

O resíduo é obtido durante o processo de fabricação na empresa MicroJuntas, a produção ocorre como na Figura 21, que ilustra o fluxograma em que a empresa recebe a matéria-prima, prepara a massa para a confecção do artefato, e depois é feita a rebarbação e limpeza do produto, onde são gerados os resíduos coletados como amostra para o estudo.

Figura 21 - Fluxograma de obtenção do resíduo



Fonte: a autora

O rejeito obtido foi utilizado como um *filler*, uma carga em uma matriz, formando um compósito. Um compósito, de acordo com a *American Society for Testing and Materials D3878-95* (ASTM, 1995), é a mistura de dois ou mais insumos que formam um novo material com características diferentes quando comparadas aos elementos isoladamente.

#### 4.1.2 Preparação dos compósitos com resinas poliméricas

Para a escolha da matriz a ser utilizada, foram realizados 3 testes empíricos com materiais disponíveis. Primeiramente, utilizando como matriz o terpolímero Acrilonitrila-Butadieno-Estireno (ABS), Terluran® GP-35 fabricado pela INEOS *Styrolution*. Com esta primeira experimentação (Figura 22), pôde-se observar que não houve fluidez suficiente para promover uma mistura adequada entre matriz e os resíduos de borracha. Outro ponto inadequado obtido no teste foi que a temperatura de moldagem do ABS é de 220 °C a 260 °C, mas a temperatura que o resíduo de borracha suporta sem se degradar é em torno de 80 °C (INEOS *STYROLUTION*, 2022).

Figura 22 - Teste com ABS



Fonte: a autora.

O segundo utilizou como matriz um Policarbonato (PC) cristal INFINO LT 1100 PC. O PC e a borracha foram misturados e prensados em um molde aquecido. Durante a moldagem ocorreu o mesmo problema obtido com o ABS, devido à temperatura de moldagem do PC ser de 120 °C (PROSPECTOR, 2022). Assim como no teste com o ABS, no teste com o PC também não houve uma mistura adequada com o resíduo de borracha. O resultado pode ser observado na Figura 23.

Figura 23 - Teste com PC cristal



Fonte: a autora

Para o terceiro teste foi utilizado uma resina à base de Poliuretano (PU) vegetal, Imperveg® AGT 1315. Esta substância tem sido utilizada em vários outros estudos para a formação de novos compósitos. Esse PU é de origem vegetal, bicomponente, termoplástico e biodegradável à base de óleo de mamona. Sua preparação se dá pela mistura do componente A, um pré-polímero, e do componente B, um polioli, para ser aplicada de acordo com o fabricante, nas proporções de 1:1,5. O fabricante indica esse polímero para agir como matriz no desenvolvimento de compósitos (IMPERVEG, 2021). Para o teste com a resina de mamona foi feita a mistura dos componentes A e B com variações de proporção do resíduo de borracha (Figura 24).

Figura 24 - Mistura Componente A, B e partículas de borracha

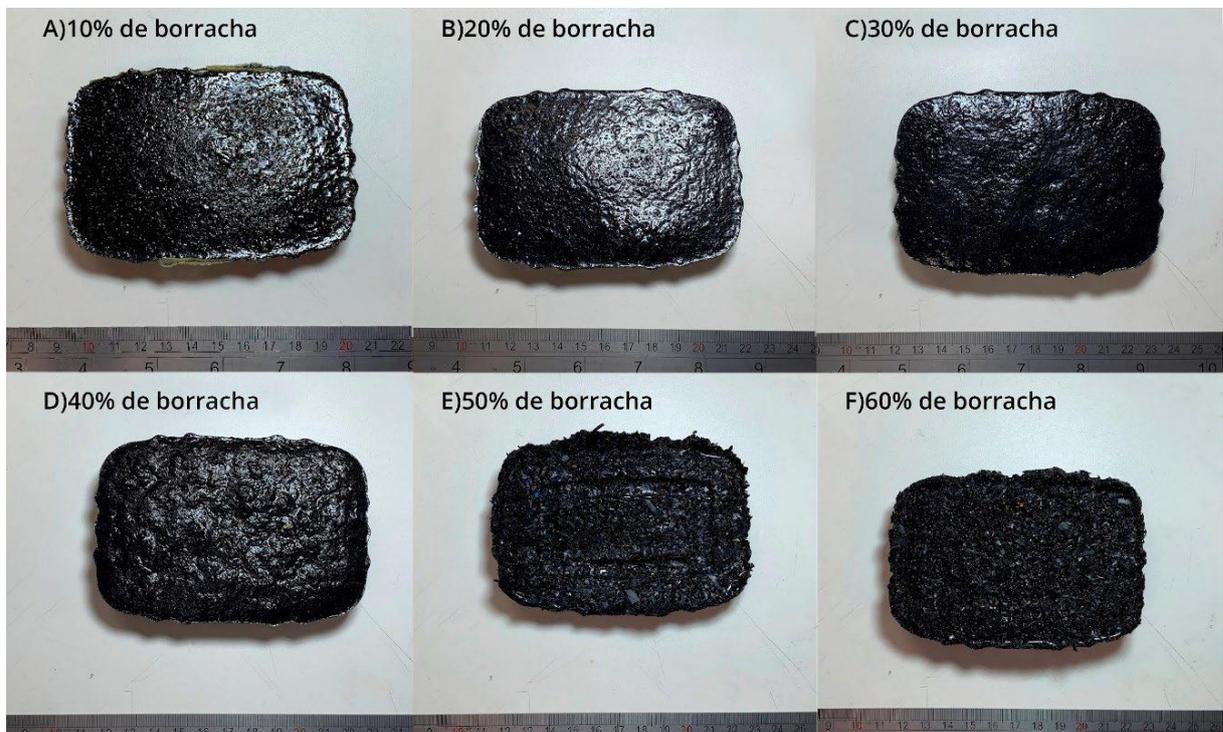


Fonte: a autora

Foram feitos alguns testes com e sem pressão na moldagem, utilizando a resina à base de óleo de mamona e a borracha em proporções diferentes. Os testes sem pressão foram realizados a partir da mistura do PU com as migalhas de borracha numa forma de plástico comum e deixadas secar em temperatura ambiente, por 6 horas para o desmolde.

Com as amostras desse teste pode-se perceber que os modelos com maior concentração de resina formaram um bloco, sólido e com uma camada lisa e brilhante. As amostras com menos resina e mais borracha ficaram mais flexíveis, porém mais frágeis, principalmente nas extremidades, nas quais a borracha acaba se descolando da porção maior. Na Figura 25 é possível visualizar as amostras com suas diferentes porcentagens de resina e borracha.

Figura 25 - Amostras com diferentes porcentagens sem pressão



Fonte: a autora

Também se identificou que nas amostras com porcentagens acima de 60% de borracha, realizadas sem pressão, o compósito já não conseguiu permanecer como um sólido, mas sim como um aglutinado de borracha que facilmente se desintegra, Figura 26.

Figura 26 - Aglutinado de borracha



Fonte: a autora

Para homogeneizar o material foi proposto o uso de compressão nessa mistura de resina e migalhas de borracha. Para isso foi utilizado um molde de metal e para pressionar foram utilizadas uma prensa manual (grampo) e uma prensa hidráulica (Figura 27).

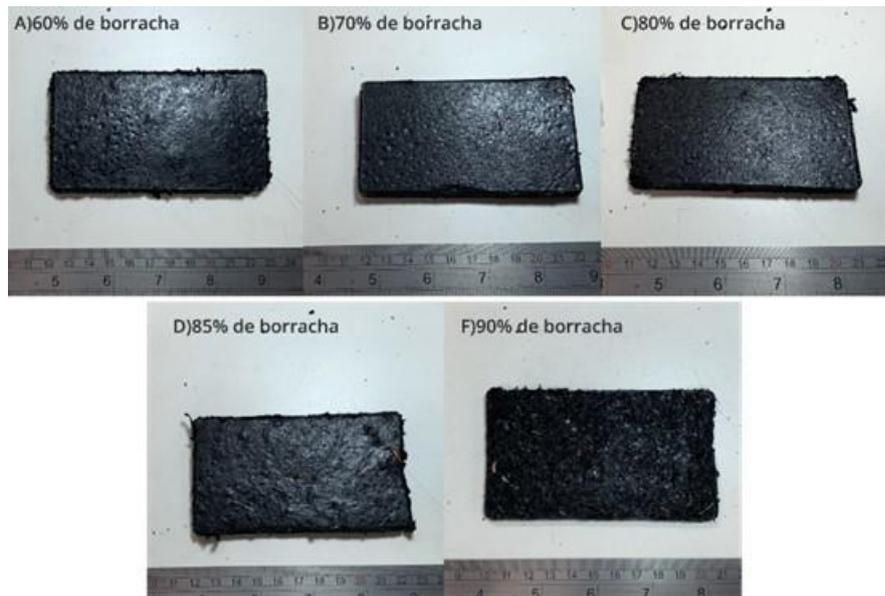
Figura 27 - Prensagem Manual (A) e hidráulica (B)



Fonte: a autora

Foram feitas amostras com 60% de borracha para 40% de resina, 70% de borracha 30% de resina, 80% de borracha 20% de resina, 85% de borracha 15% de resina e 90% de borracha 10% de resina (Figura 28). A partir disto foi notável que as amostras com menos de 60% de borracha não apresentaram bons resultados nos testes com pressão, por terem à mistura muito líquida, não foi possível comprimir a mesma sem vazar.

Figura 28 - Amostras de compósitos obtidas aplicando pressão



Fonte: a autora

Os testes seguiram a proporção indicada no Quadro 4, tendo como referência a massa total de 100 gramas da borracha. No Quadro 4, a primeira coluna indica a porcentagem de borracha da amostra, a segunda coluna quantos gramas do componente A da resina de mamona e a terceira coluna quantos gramas do componente B. A quarta coluna indica o peso da borracha em gramas e, por fim, a quinta coluna mostra a soma dos componentes sendo de 100 gramas para todas as porcentagens.

Quadro 4 - Proporções da mistura de resina e borracha

<b>Referência 100 gramas</b>				
<b>Borracha%</b>	<b>Massa A</b>	<b>Massa B</b>	<b>Massa borracha</b>	<b>Total</b>
<b>10</b>	36,0	54,0	10	100
<b>20</b>	32,0	48,0	20	100
<b>30</b>	28,0	42,0	30	100
<b>40</b>	24,0	36,0	40	100
<b>50</b>	20,0	30,0	50	100
<b>60</b>	16,0	24,0	60	100
<b>70</b>	12,0	18,0	70	100
<b>80</b>	8,0	12,0	80	100

<b>85</b>	6,0	9,0	85	100
<b>90</b>	4,0	6,0	90	100

Fonte: a autora

Assim, foi realizado teste para a cura das amostras com e sem aquecimento (aproximadamente 70 °C) e visualmente não foi possível perceber diferença entre elas. Foi verificado que ao se confeccionar as amostras sob aquecimento, o tempo para o desmolde foi reduzido. Para desmoldar foram utilizados desmoldantes com silicone, grafite e papel celofane com detergente. O melhor resultado foi obtido com o papel celofane e detergente, pois o desmolde aconteceu sem dificuldades.

A respeito das amostras comprimidas, o resultado se mostrou visualmente positivo, por ser possível aproveitar mais do material e utilizar menos resina. A pressão permitiu que as partículas de borracha fossem compactadas e durante a cura da resina houve a formação de um material mais denso e com menos volume. As amostras se configuraram como placas retangulares, conforme é possível visualizar na Figura 29, com características como flexibilidade, acabamento razoavelmente liso nas extremidades e uma aparência mais densa.

Figura 29 - Aparência sólida da amostra.

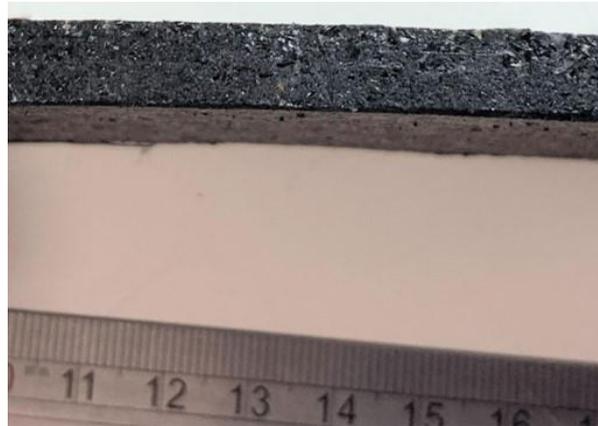


Fonte: a autora

Sobre as porcentagens diferentes dos compostos, as amostras feitas com 70% de resina foram as que mostraram ser mais resistentes e mais compactas, mas mantendo algumas características dos elastômeros como a flexibilidade. Na preparação dos compósitos com percentual de borracha acima de 70%, foi observado que com o manuseio os grânulos de

borracha começavam a se soltar por não estarem totalmente impregnados pela resina e nos compósitos com 60% de resíduo, os resultados foram semelhantes aos da amostra com 70%.

Figura 30 - Compósito com 70% de borracha



Fonte: a autora

A aparência das amostras varia de acordo com a aparência dos resíduos, a cor que prevalece é a preta, com alguns pontos coloridos (oriundos de resíduos de borrachas coloridas) que em algumas amostras aparecem mais e em outras menos (Figura 31), fator que varia de acordo com a produção da empresa.

Figura 31 - Estética das amostras



Fonte: a autora

#### 4.1.3 Análises das amostras

A caracterização da estrutura química, da morfologia da superfície e das propriedades térmicas foi realizada nas amostras de resina de poliuretano derivada da mamona, nos resíduos de borracha e nos compósitos com 60, 70 e 80% de resíduos de borracha.

A primeira análise foi a **Termogravimétrica (TGA)**, que avaliou estabilidade térmica das amostras em analisador térmico da marca *TA Instruments*, modelo Q50, pertencente ao Laboratório de Materiais da Univille. As amostras foram submetidas a uma faixa de temperatura de 25 a 1000 °C, com taxa de aquecimento de 10 °C/min, em atmosfera inerte de nitrogênio gasoso a 50 mL/min.

A segunda análise foi a **Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC)**, que foi empregada para avaliar os eventos térmicos ocorridos nas amostras em função da temperatura, bem como as alterações nas propriedades térmicas, como temperatura de transição vítrea.

As curvas de DSC foram obtidas em um módulo calorimétrico exploratório diferencial da marca *TA Instruments*, modelo Q20, equipado com um sistema de resfriamento tipo LNCA (resfriamento com nitrogênio líquido). A taxa de aquecimento foi de 10 °C/min, em atmosfera inerte de N<sub>2</sub> a 50 mL/min. Foi utilizado um gradiente de temperatura de -50 a 150 °C. O ensaio foi realizado no Laboratório de Materiais da Univille.

A terceira análise foi a **Espectroscopia na Região do Infravermelho com Transformada de Fourier (FT-IR)**, na qual a estrutura química das amostras foi avaliada em um espectrofotômetro da marca *Perkin Elmer*, modelo Frontier FT-IR, equipado com acessório ATR. A faixa de análise foi de 4000 a 600 cm<sup>-1</sup>, com ângulo de incidência de 45°, resolução de 4 cm<sup>-1</sup> e 32 varreduras por amostra. Essa análise foi realizada no Laboratório de Materiais da Univille.

A quarta análise foi a **Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)**, utilizada para avaliar as alterações na morfologia da superfície das amostras. As amostras foram previamente cortadas, metalizadas com ouro para tornarem-se eletricamente condutoras e em seguida foram analisadas em microscópio eletrônico de varredura (*Jeol JSM-6390LV, Scanning Electron Microscope*), com filamento de tungstênio, voltagem de aceleração de 15 kV e ampliação de 35 e 200 vezes, no Centro Multiusuário do Centro de Ciências Tecnológicas da Universidade do Estado de Santa Catarina (CMU/CCT/UDESC).

A caracterização das propriedades mecânicas também foi realizada nas amostras de resina de poliuretano derivada da mamona, nos resíduos de borracha e nos compósitos com 60, 70 e 80% de resíduos de borracha.

A primeira caracterização ocorreu por meio do **Ensaio de Resistência à Tração**, realizado seguindo procedimentos da norma ASTM D 638M (ASTM, 2014). As análises foram realizadas somente nas amostras de compósitos. Foram testadas 15 amostras com aproximadamente 2,5 mm de espessura. As amostras compactadas foram cortadas no formato de corpo de prova tipo “gravata” seguindo as dimensões da norma. Os testes foram realizados em uma máquina de ensaios mecânicos da marca *Kratos Equipamentos*, na empresa Microjuntas. A célula de carga foi de 1000 kgf e a velocidade de deslocamento de 200 mm/min. Na Figura 32 podem ser visualizados o equipamento e o corpo de prova posicionado no mesmo.

Figura 32 - Ensaio de tração



Fonte: a autora

Foram obtidos três resultados do ensaio de tração: (i) a resistência à tração, dada pela força máxima (em N) no momento da ruptura do material sob tração dividida pela área inicial da seção transversal ( $\text{mm}^2$ ), expressa em MPa; (ii) o alongamento até a ruptura (%), o qual representa o percentual do aumento do comprimento da peça sob tração no momento da ruptura; (iii) o módulo de elasticidade (MPa), que é dado pelo resultado da divisão entre a deformação e a tensão aplicada sob a amostra.

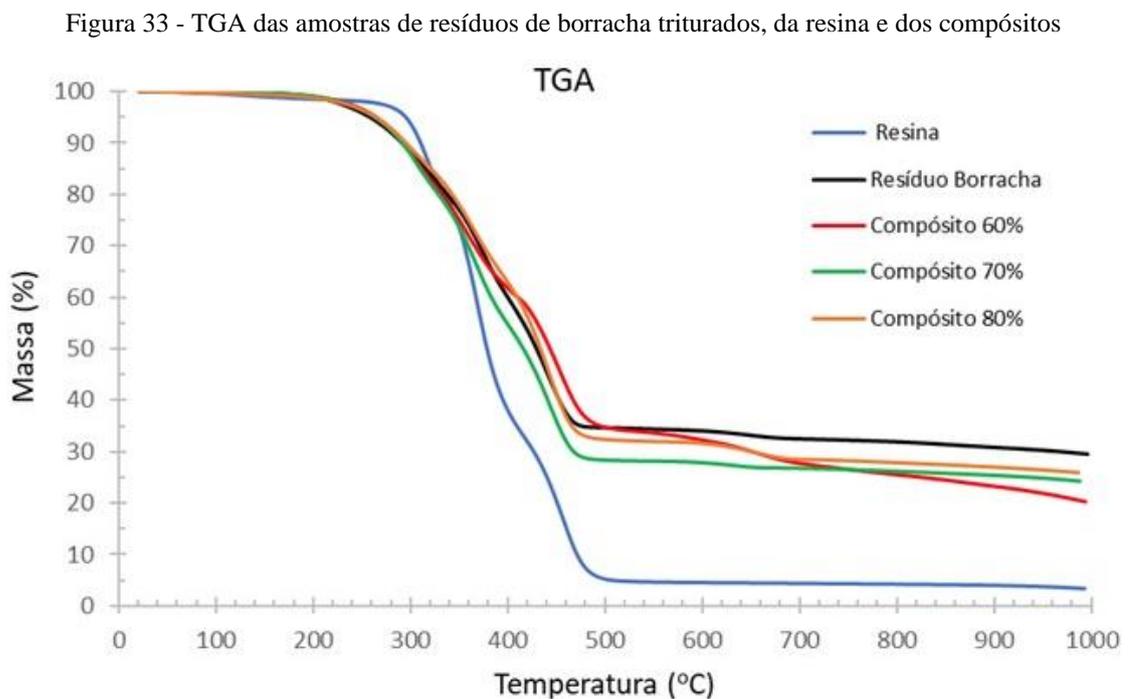
Também foi realizado um **Ensaio de Dureza**, com medição de dureza Shore A, realizado segundo a norma ASTM D 2240. Os testes foram realizados em durômetro da marca *Woltest*, modelo GS 709, na empresa Microjuntas.

#### 4.1.4 Resultados e considerações sobre as análises das amostras

Como resultado do **TGA** verifica-se que a amostra de resina poliuretana de mamona apresentou maior estabilidade térmica que as amostras de borracha triturada e dos compósitos. Ela se manteve estável até aproximadamente 235 °C, evidenciando seu caráter hidrofóbico.

São observados 3 estágios de decomposição térmica distintos para a resina. O primeiro iniciando em aproximadamente 235 °C, com perda de massa de 13%, provavelmente devido à perda de algumas moléculas não reagidas. O segundo próximo a 336 °C, referente ao rompimento dos segmentos rígidos, cisão de ligações uretânicas e uréicas, com perda de massa de 46% e o terceiro em torno de 410 °C até 520 °C, com perda de massa de 36%, correspondente à decomposição das ligações ésteres presentes no polioli.

Na Figura 33 estão apresentados os resultados de TGA das amostras de resíduos de borracha triturados, de resina poliuretana derivada de mamona e dos compósitos de borracha e resina com diferentes percentuais.



Percebe-se também que ao final do aquecimento (em 1000 °C), o resíduo resultante foi de 4%, o qual é devido à formação de carvão. Estes eventos também foram observados em estudos de Marinho *et al.* (2013) e Mothé *et al.* (2004) para resinas poliuretanas derivadas de mamona comerciais.

O resíduo de borracha triturada apresentou três eventos de decomposição térmica simultâneos, com início em 180 °C e término em 485 °C, com perda de massa de 65%, relacionados aos componentes das borrachas presentes. Segundo Silva *et al.* (2020), perda de massa em torno de 374 °C é referente à borracha natural (NR) e em 436 °C é atribuída à borracha de estireno-butadieno (SBR).

Nesse intervalo de temperatura também ocorre decomposição da borracha nitrílica (NBR). Os diferentes eventos térmicos observados ocorrem em função da amostra de resíduos de borracha particulada ser composta por diferentes tipos de borrachas advindas do processo de rebarbação dos produtos fabricados na empresa, tais como borracha, borracha natural (NR), borracha estireno-butadieno (SBR), borracha etileno-propileno-dieno (EPDM) e borracha nitrílica ou acrilonitrila-butadieno (NBR).

Na formulação dessas borrachas, além da matéria-prima principal (borracha), são utilizados aditivos, como agentes de vulcanização (enxofre), aceleradores, ativadores (como óxido de zinco, ácido esteárico), plastificantes (óleos parafínicos), antioxidantes e cargas minerais, como negro de fumo (SILVA; COUTINHO, 2021).

Um quarto evento, mais isolado, com início e término em 578 °C e 700 °C, respectivamente, também pode ser observado, o qual pode estar relacionado à perda de massa de cargas, como negro de fumo e aditivos com alto ponto de ebulição, utilizadas na composição das borrachas. As partículas de borracha apresentaram teor de resíduo de 30%, que pode estar relacionado com a oxidação do enxofre empregado no processo de vulcanização da borracha (SILVA *et al.*, 2020).

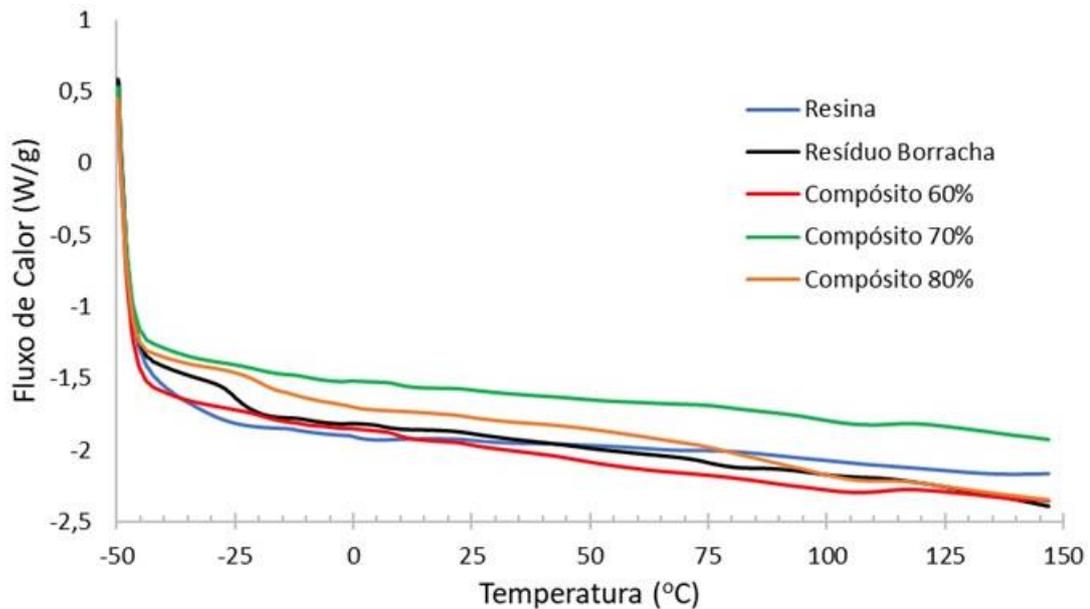
Os compósitos também apresentaram os mesmos eventos, porém, em regiões e com perdas de massa diferentes. A adição de resina à borracha triturada ocasionou aumento na estabilidade térmica dos compósitos. Os compósitos apresentaram teores residuais entre 20% e 26%, sendo maior para aqueles com maiores percentuais de borracha.

Já quanto à análise **DSC**, não foi possível identificar a temperatura de transição ( $T_g$ ) vítrea na curva de DSC da resina de poliuretano de mamona. Segundo a literatura ela varia numa ampla faixa, desde 12 a 78 °C, devido à massa molar dos grupos presentes na cadeia do

pré-polímero e polioliol, bem como do número de equivalente grama de isocianato do pré-polímero e do grau de reticulação do PU formado (MERLINI, 2011; ALVES *et al.*, 2007).

O resíduo de borracha triturada apresentou Tg em aproximadamente  $-19\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Segundo a literatura, a Tg de borrachas nitrílicas, natural, SBR e EPDM aparecem na região entre  $-58$  a  $-19\text{ }^{\circ}\text{C}$ , sendo que a borracha nitrílica presente em maior quantidade no resíduo avaliado apresenta Tg entre  $-30$  a  $-19\text{ }^{\circ}\text{C}$  (IOZZI *et al.*, 2010; DALL'ANTONIA *et al.*, 2009; ANJOS, 2007; SCURACCHIO *et al.*, 2005). Na Figura 34 estão apresentados os resultados de DSC das amostras de borracha triturada, de resina de poliuretano de mamona e dos compósitos de borracha e resina.

Figura 34 - DSC das amostras de borracha triturada, da resina e dos compósitos



Fonte: a autora

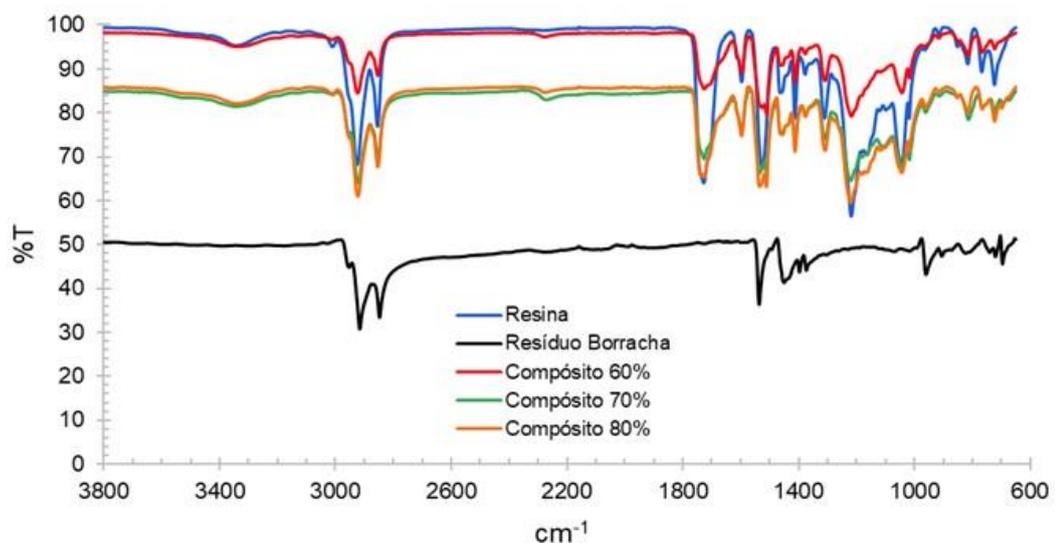
Além disso, verifica-se das curvas de DSC dos compósitos que a incorporação da resina de poliuretano derivada da mamona ocasionou ligeiro aumento da Tg em relação à do resíduo de borracha, sendo de  $-13\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $-16\text{ }^{\circ}\text{C}$  e  $-16\text{ }^{\circ}\text{C}$ , para os compósitos 60%, 70% e 80%, respectivamente. Essa diminuição na Tg com o aumento da incorporação de borracha também foi observada em estudos de Rodrigues (2008), que produziu e caracterizou compósitos de resíduos de borracha de pneus e resina de poliuretano derivada de mamona para uso na construção civil.

Quanto à análise **FT-IR**, verifica-se do espectro da resina de PU de mamona, ligações uretano, que podem ser evidenciadas em  $1218\text{ cm}^{-1}$  resultante da presença de oxigênio e carbono no grupo uretano ( $\text{O-C=O}$ ), em  $1524\text{ cm}^{-1}$  correspondente às ligações do C-N (grupos amida) e em  $1727\text{ cm}^{-1}$  referente às ligações C=O. O pico em  $1597\text{ cm}^{-1}$  é característico de vibrações C=C em anéis aromáticos presentes nos grupos isocianato e os picos em  $1308$ ,  $816$  e  $723\text{ cm}^{-1}$  são correspondentes à ligação C-H de anéis aromáticos de isocianato. Bandas em  $1020$  e  $1055\text{ cm}^{-1}$  resultam da presença de ligações entre átomos de carbono e oxigênio, relacionados com a estrutura do poliéster derivado do óleo de mamona.

Os picos em  $2854\text{ cm}^{-1}$  e  $2925\text{ cm}^{-1}$  são característicos de estiramento C-H. Na região de  $3343\text{ cm}^{-1}$  observa-se banda relacionada a grupos hidroxilas livres e a ligações N-H. A ausência de bandas na região de  $2000\text{-}2300\text{ cm}^{-1}$  confirma que não existem grupos isocianatos significantes nas amostras da resina pós cura, ou seja, todos os grupos isocianatos estiveram envolvidos na reação. Estes resultados também foram evidenciados por Gurgel (2019) que caracterizou poliuretana obtida por óleo de mamona e resíduos industriais e por Silva et al (2020) que avaliaram compósitos de resina de poliuretano de mamona e resíduos de borracha de pneus.

Na Figura 35 estão apresentados os resultados de FT-IR das amostras de resíduos de borracha triturados, de resina de poliuretano de mamona e dos compósitos de borracha e resina.

Figura 35 - Espectros FT-IR das amostras de resíduos de borracha triturados, da resina e dos compósitos.



Fonte: a autora.

Conforme descrito anteriormente, os resíduos de borracha avaliados neste estudo são constituídos por diferentes tipos de borrachas (NBR, SBR, EPDM e NR) que na sua composição apresentam aditivos diversos, desta forma, nos espectros foram observados grupos químicos característicos destes materiais. No espectro do resíduo de borracha verifica-se picos de absorção característicos da estrutura de borrachas em torno de 2953, 2915 e 2847  $\text{cm}^{-1}$ , os quais são decorrentes do estiramento assimétrico das ligações C-H do grupo -CH<sub>3</sub> (2953  $\text{cm}^{-1}$ ) e das ligações C-H do grupo -CH<sub>2</sub>- (2915  $\text{cm}^{-1}$ ) e do estiramento simétrico das ligações C-H dos grupos -CH<sub>3</sub> e -CH<sub>2</sub>- (2847  $\text{cm}^{-1}$ ).

Picos de 2000 a 1660  $\text{cm}^{-1}$  representam uma região harmônica relacionada a anel aromático e o pico de baixa intensidade em 1715  $\text{cm}^{-1}$  pode ser atribuído a vibrações de carbonila (C=O). As absorções em 1450 e 1376  $\text{cm}^{-1}$  correspondem às vibrações de flexão de grupos metil e metilenos. A banda em 1080  $\text{cm}^{-1}$  corresponde à ligação C-O-C e em 1022  $\text{cm}^{-1}$  à ligação S=O. As bandas entre 990-855  $\text{cm}^{-1}$  correspondem às vibrações de grupos butadieno.

A região de 725-670  $\text{cm}^{-1}$  representa ligações de estireno, a banda em 720  $\text{cm}^{-1}$  também pode ser atribuída às vibrações do grupo C-S e em 850-780  $\text{cm}^{-1}$  é atribuída à borracha natural. Esses resultados também foram observados por Silva *et al.* (2020) na caracterização de resíduos de borracha de pneus. O pico em 1536  $\text{cm}^{-1}$  é característico da vibração de estiramento de C-N presentes em aditivos como agentes de cura (LOU *et al.*, 2018).

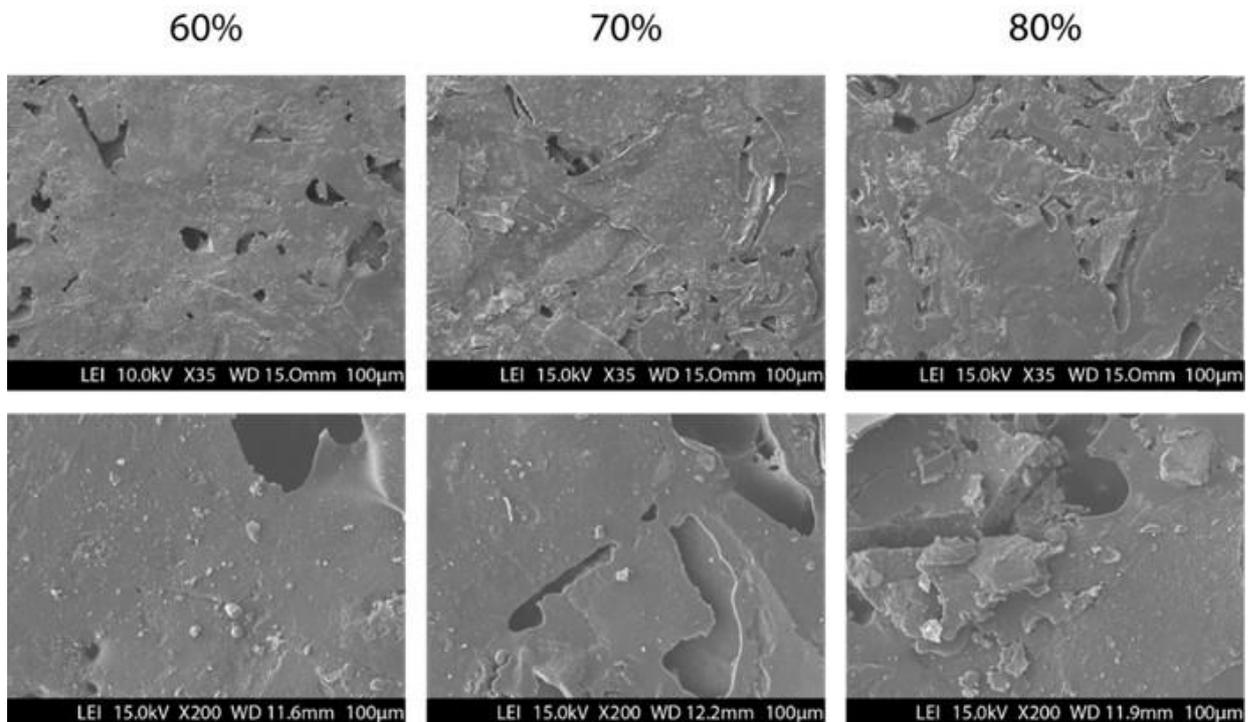
Os compósitos apresentaram praticamente as mesmas bandas de absorção observadas para a resina e para os resíduos de borracha. Porém, houve diminuição na intensidade dos sinais relacionados às ligações N-H, C-N, C=O e O-C-O nos espectros dos compósitos, indicando diferentes quantidades de grupos uretanos na resina de poliuretano pura em comparação com os compósitos, o que pode estar relacionado com as interações químicas entre os grupos funcionais presentes na superfície das partículas de borracha e os do isocianato da resina de poliuretano.

Essas interações também foram confirmadas por uma diminuição em 1415  $\text{cm}^{-1}$  correspondente a anéis aromáticos de isocianurato, diminuição em 2925 e 2854  $\text{cm}^{-1}$  relacionados a vibrações de estiramento de C-H de grupos CH<sub>2</sub> em cadeias alifáticas, diminuição em 1727  $\text{cm}^{-1}$  relacionado com a ligações de uretano, diminuição em 1597 e 1308  $\text{cm}^{-1}$  de vibrações de isocianato e em 950  $\text{cm}^{-1}$  correspondente ao grupo butadieno. Houve o aparecimento de um pico de baixa intensidade para os compósitos em 2270  $\text{cm}^{-1}$  correspondente aos grupos cianato que não reagiram (SILVA *et al.*, 2020).

Quanto à avaliação morfológica, a **MEV** permite identificar que a amostra com menor teor de resíduo de borracha triturada (60%) apresenta estrutura mais lisa, devido a uma melhor impregnação das partículas do resíduo pela resina de poliuretano de mamona. No entanto, podem ser observadas regiões não preenchidas pela resina, poros ou vazios, que podem ocorrer devido à formação de bolhas ocasionadas pela liberação de CO<sub>2</sub> e vapor de H<sub>2</sub>O nas reações paralelas que ocorrem durante a polimerização da resina e na prensagem do material para obtenção dos compósitos e pela incorporação de ar durante a mistura de resina e borracha (MARINHO *et al.*, 2013).

Nas amostras com maiores teores de resíduos de borracha (70 e 80%), também podem ser observadas regiões não impregnadas com a resina, além de pedaços e pontas de borracha triturada na superfície e aglomerados de partículas de borracha. Na Figura 36 estão apresentadas as micrografias de MEV da superfície das amostras de compósitos de borracha e resina, com ampliação de 35 e de 200 vezes.

Figura 36 - Micrografias de MEV das amostras dos compósitos de borracha e resina, com ampliação de 35 e de 200 vezes



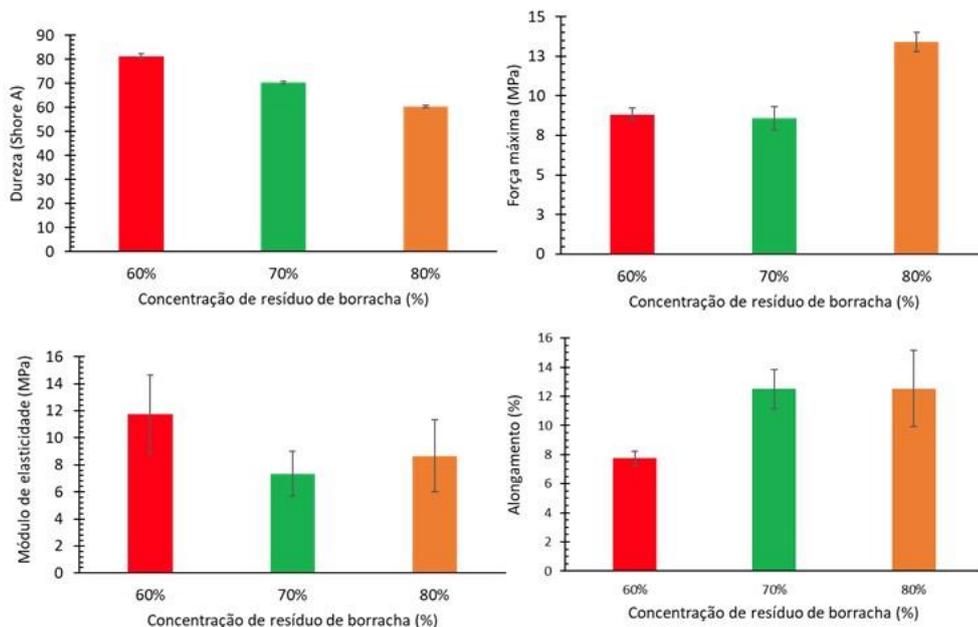
Fonte: a autora.

Quanto aos ensaios mecânicos, verifica-se que com o aumento do teor de resíduos de borracha houve diminuição na **Dureza** dos compósitos, de aproximadamente 25% quando comparados os compósitos com 60 e 80% de borracha. Não houve alteração significativa na **força máxima à tração** com o aumento da concentração de 60 para 70% de borracha, porém houve aumento de aproximadamente 36% para os compósitos com 80%. O **módulo de elasticidade** apresentou oscilação quando analisados os valores médios para os três compósitos, porém considerando os desvios-padrão, verifica-se que os valores foram próximos. Houve aumento de aproximadamente 38% no alongamento na ruptura para os compósitos com 70 e 80% de borracha quando comparados com o de 60%.

Silva *et al.* (2020), em seu estudo sobre compósitos de resíduos de pneus e resina de poliuretano de mamona obteve compósitos menos rígidos ao aumentar o teor de borracha triturada, atribuindo à maior elasticidade do material, devido à interação química entre as partículas de borracha e a resina de poliuretano derivada de mamona, o que pode ter ocorrido nos compósitos avaliados neste estudo.

Uma distribuição não homogênea das partículas de borracha na resina e a presença de espaços vazios, ou seja, não preenchidos pela resina, como observado por MEV, podem ter ocasionado oscilação nos valores do módulo de elasticidade. Na Figura 37 estão apresentados os resultados dos ensaios de tração e dureza das amostras dos compósitos.

Figura 37 - Resultados dos ensaios de tração e dureza das amostras dos compósitos de borracha e resina.



Fonte: a autora.

Com base nos resultados de caracterização das amostras, verifica-se que os compósitos apresentaram estrutura química e estabilidade e comportamento térmicos muito similares. Porém, houve variação nas propriedades mecânicas e na morfologia da superfície das amostras. Vale ressaltar que a intenção aqui era utilizar o maior teor de borracha possível na confecção do compósito e que ele apresentasse boa processabilidade e propriedades compatíveis com a aplicação do produto definido.

Dentre os compósitos com maiores teores de borracha, o compósito com 70% exibiu maior dureza, porém, menor força máxima que o compósito com 80%. Para definir o compósito mais adequado para desenvolver um produto, foi avaliada também a processabilidade e o aspecto visual do material.

Compósitos com maiores teores de resina foram mais fáceis de homogeneizar, porém, foram mais difíceis de serem removidos do molde, apresentando partículas aderidas na superfície do molde. Compósitos com menores teores de resina apresentaram partículas de resíduo de borracha soltas na superfície, que não foram impregnadas pela resina, como pode ser observado por MEV. Em função disto, definiu-se utilizar o compósito com 70% de resíduo de borracha, uma vez que apresentou boas propriedades mecânicas e processabilidade e excelente aspecto visual.

## **4.2 Desenvolvimento do Produto**

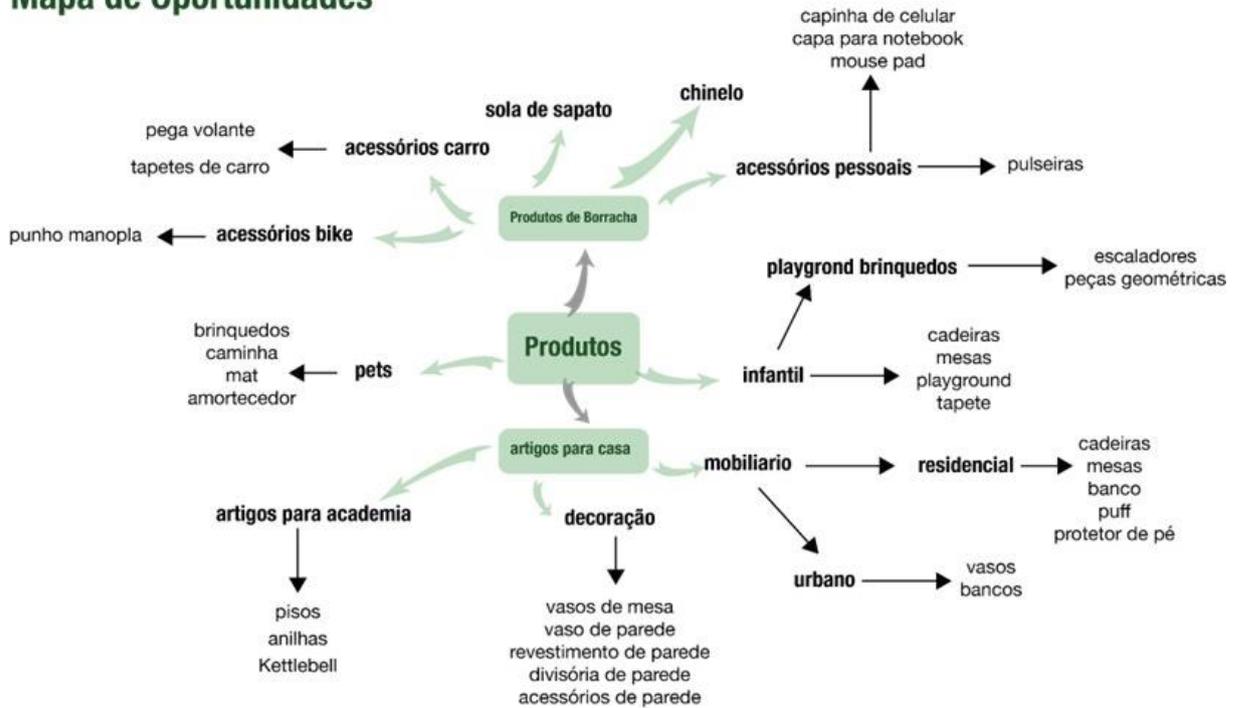
Segundo a metodologia *DSR*, após as pesquisas é proposto um artefato para resolver o problema específico. Levando em consideração os resultados obtidos pelos testes empíricos, pelas análises de caracterização das amostras e considerações, foi utilizada a técnica do *brainstorming*.

### **4.2.1 Brainstorming**

Foram explorados diversos segmentos de produtos nos quais esse material poderia ser aplicado. Para sintetizar as ideias foi gerado um mapa mental, conforme apresentado na Figura 38.

Figura 38 - Mapa de Oportunidades

## Mapa de Oportunidades



Fonte: a autora.

### 4.2.2 Matriz de Decisão

Para definir uma aplicação compatível para o material, foi feita uma matriz de decisão em forma de *checklist*, como proposto por Pazmino (2015). Nessa matriz o designer lista alguns critérios para o projeto e vai marcando as opções que atendem os critérios propostos. Os critérios propostos para a avaliação foram:

1. Ser fabricado por moldagem por compressão, visto que esse processo apresentou bons resultados;
2. Não exigir propriedades técnicas avançadas para o material, uma vez que o material desenvolvido não possui propriedades mecânicas compatíveis com elementos estruturais;
3. Não necessitar de acabamentos finos para a moldagem do produto, para não ter partes mais frágeis que outras no produto;
4. Aproveitar a sensação tátil da textura da borracha;
5. Não exigir grande elasticidade durante o uso, pois embora o material exiba flexibilidade, pode se romper ao ser flexionado;

6. Ser esteticamente compatível o produto com o material, tanto em cores quanto em texturas;
7. Atribuir uma nova aplicação para a borracha reciclada diferente do que há no mercado atual, para explorar novas oportunidades comerciais.

Utilizando esses aspectos foi desenvolvida a matriz, apresentada no Quadro 5, utilizando os produtos citados no mapa de oportunidades e os critérios de 1 a 7 propostos anteriormente.

Quadro 5 - Matriz de decisão

<b>N</b>	<b>Produto x Critérios</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>Total</b>
1	acessórios de parede	x	x		x	x	x	x	6
2	amortecedor				x		x	x	3
3	anilhas	x	x	x	x		x		5
4	bancos	x	x	x	x	x	x		6
5	brinquedos - peças geométricas	x	x	x	x	x		x	6
6	brinquedos- pets	x			x		x	x	4
7	brinquedos - escadares	x	x	x	x	x		x	6
8	cadeiras	x	x	x	x	x	x		6
9	<b>cama para pets</b>	x	x	x	x	x	x	x	<b>7</b>
10	capa para celular		x		x		x		3
11	capa para notebook		x	x	x		x	x	4
12	chinelo	x		x	x		x		4
13	<b>divisórias de parede</b>	x	x	x	x	x	x	x	<b>7</b>
14	<i>kettlebell</i>	x	x	x	x	x	x		6
15	<i>mat</i>	x	x	x	x		x		5
16	<b>mesas</b>	x	x	x	x	x	x	x	<b>7</b>
17	mouse pad	x	x	x	x		x	x	6
18	Pega para volante		x		x		x	x	4
19	pesos de academia	x	x	x	x	x	x		6
20	piso de academia	x	x	x	x	x	x		6
21	<b>porta lápis</b>	x	x	x	x	x	x	x	<b>7</b>
22	protetores de pés de mesa	x	x	x	x		x	x	5
23	<b>pufe</b>	x	x	x	x	x	x	x	<b>7</b>
24	pulseiras	x	x		x		x		4
25	punho/manopla	x	x		x		x	x	4

26	<b>revestimento de parede</b>	x	x	x	x	x	x	x	<b>7</b>
27	Sola de sapato	x			x		x		3
28	tapete de carro	x	x		x		x	x	5
29	tapete infantil	x	x	x	x	x			5
30	<b>vaso de chão</b>	x	x	x	x	x	x	x	<b>7</b>
31	vaso de mesa	x	x		x	x	x	x	6
32	vaso de parede	x	x		x	x	x	x	6

Fonte: a autora

Com a matriz foi possível filtrar as ideias para 7 opções que atenderam os critérios propostos pela pesquisadora sendo as opções filtradas: cama para pets; divisória de parede; mesas; porta lápis; pufe; revestimento de parede; vaso de chão.

Uma vez que a pesquisadora já possui experiência no desenvolvimento de acessórios na linha pet, foi dada preferência a uma aplicação nessa área. Além disso, atualmente o mercado de acessórios pet está aquecido e com tendência de crescimento (ABINPET, 2022), o que pode representar uma excelente oportunidade para futura inserção do produto.

#### 4.2.3 *Análise de similares*

A partir da definição do produto, foi realizada uma breve pesquisa de mercado que apontou alguns dos principais modelos comercializados no momento (descritos no Quadro 6), sendo que o modelo mais comum é o modelo vendido na *Petz* que se trata de uma caminha simples, estilo almofada com bordas nos 4 cantos. Outro modelo muito semelhante ao da cama da *Petz* é a cama da *Bark* que contém 2 partes: a base e o colchão. Na segunda coluna é mostrada a caminha da *ZeeDog* que tem como diferenciais um investimento no tipo do colchão e a capa removível. No Quadro há a descrição dos tamanhos, materiais, preços e outros diferenciais.

Quadro 6 - Análise de similares

Descrição	Imagem
<p><b>Petz</b></p> <p>Material: Algodão e poliéster</p> <p>Tamanho:  P (47x35x15)  M (52,5x41x15,5cm)  G (64x44x17cm)</p> <p>Preço: R\$ 169,99 - 199,00</p> <p>Extra: dupla face; bom isolante térmico; capa separada</p>	
<p><b>Bark</b></p> <p>Material: espuma de memória com gel</p> <p>Tamanho:  P (60x40x23cm)  M (73x45x23cm)  G (88x55x25cm)</p> <p>Preço: ~ R\$ 300,00 (P) importada</p> <p>Obs: capa separada; boa para cães com artrite ou problemas de mobilidade; resistente à água; 2-em-1 (travesseiro removível)</p>	
<p><b>ZeeDog</b></p> <p>Material: microfibras ultrasoft; espuma de memória; microfibras laterais respiráveis; borracha antiderrapante</p> <p>Tamanho:  P (63x56x12cm);  G (81x71x14cm)</p> <p>Preço: R\$ 449,00 - 649,00</p> <p>Extra: capa separada; embalagem compacta; espuma diferente nas bordas para apoio da cabeça do cachorro.</p>	

Fonte: a autora

Na sequência foi realizada uma análise estrutural de um dos concorrentes para entender melhor as proporções do produto e camadas de materiais (Figura 39). No produto escolhido para a análise tem uma base de borracha antiderrapante, depois um colchão de espuma com memória e uma capa para cobrir o colchão que tem uma lateral respirável e a parte superior é

feita de microfibras para o contato mais confortável com o animal. Os tamanhos da caminha pequena são: 63 cm de comprimento, 56 cm de profundidade e 12cm de altura. Este produto tem mais foco na qualidade do colchão para o animal.

Figura 39 - Análise estrutural



Fonte: Adaptado ZeeDog (2022). Disponível em: <https://bitly.com/uTdOcY>

Com base nos achados foram construídos painéis de referência para que fosse possível visualizar padrões e tendências (Figura 40) e neles foram explorados outros modelos de caminha que não são os mais convencionais, mas com uma estrutura mais robusta, existentes no mercado exterior, com isso é possível observar um "gap" de oportunidade para o mercado brasileiro.

Figura 40 - Painel de Referência.



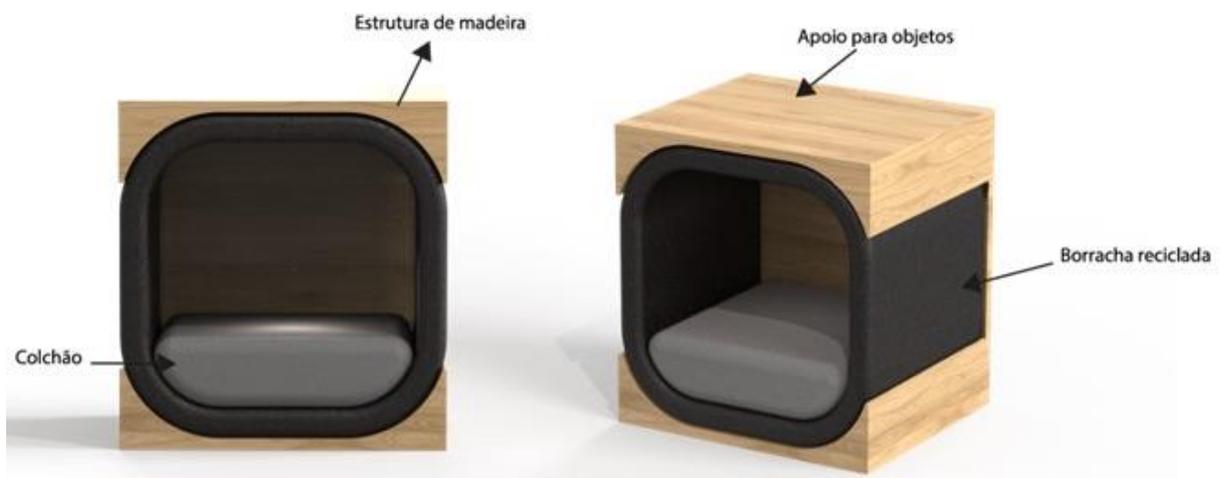
Fonte: com base em imagens do Pinterest. Disponível em: <https://br.pinterest.com/andrezzo/m/>

#### 4.2.4 Geração de alternativas

Nesta etapa, foram exploradas alternativas, sempre respeitando as características do material, suas restrições mecânicas, de conformação, estéticas e funcionais para o produto. Para o projeto, foi tomado como base o tamanho de caminhas pequenas para gatos e cachorros de pequeno porte. As alternativas foram projetadas com cantos bem arredondados e estruturas mais grossas tanto para passar a sensação de conforto como para criar um produto mais robusto e forte para suportar o peso do animal.

A primeira alternativa, (Figura 41) explorou o material para funcionar como uma cobertura para a caminha, com um suporte de madeira envolta da borracha para dar mais sustentação, assim apareceu a oportunidade de usar a parte superior da caminha como uma "mesa de apoio" para pequenos objetos, visando otimizar os espaços domésticos.

Figura 41 - Alternativa A



Fonte: a autora

A segunda alternativa, (Figura 42) utilizou o compósito para formar uma base mais usual de cama de animal, mas com uma cobertura de metal, que tem como função cobrir o animal e ser utilizada como apoio de pequenos objetos.

Figura 42 - Alternativa B



Fonte: a autora

A terceira alternativa (Figura 43) possui uma estética similar à primeira, sendo mais simplificada trazendo uma estética moderna, com uma base mais grossa de borracha no fundo já que não possui a base inferior de madeira. Com o compósito de borracha em contato direto no chão, é possível proporcionar maior aderência do produto na base. Para ajudar na estrutura foi colocada uma placa de madeira no fundo e em cima para o apoio de pequenos objetos.

Figura 43 - Alternativa C



Fonte: a autora.

A quarta alternativa (Figura 44) não possui cobertura, esta possui pés para levantar do chão a base da caminha. Com uma estética muito minimalista e com as arestas arredondadas, tem como ideia cumprir o papel, principalmente, de tirar o colchão do chão para trazer mais conforto térmico ao animal.

Figura 44 - Alternativa D



Fonte: a autora

### 4.3 Proposta escolhida

A alternativa C (Figura 43) foi escolhida a partir de critérios de fácil moldagem, limpeza, potencial de fabricação, estética, facilidade de desmontagem, integração com o ambiente doméstico e bom aproveitamento no uso do compósito. Com isso, foi elaborado uma ambientação do produto (Figura 45).

Figura 45 - *Rendering* digital do produto



Fonte: a autora.

A partir do estudo do material percebe-se que o projeto é factível e se obterá um bom reaproveitamento do material. Para a fabricação do produto são necessários estudos adicionais, com testes e protótipos para ser possível a comercialização do produto.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Essa pesquisa se propôs a desenvolver uma proposta de reutilização de um subproduto de uma indústria local. A proposta foi alinhada a uma demanda real de uma empresa localizada em Joinville/SC, que busca soluções mais sustentáveis para os seus resíduos. Embora essa empresa fabrique apenas componentes para outras indústrias (juntas, retentores, coifas etc.), há uma preocupação genuína com o considerável volume de resíduos de borracha gerados (cerca de 40 ton./mês).

Para entender essa demanda foi essencial a utilização de uma metodologia que balanceasse aspectos técnico-científicos e práticos. Nesse sentido, essa pesquisa foi estruturada segundo a *Design Science Research*. Essa metodologia foi essencial para fornecer as bases científicas e estruturar o desenvolvimento da proposta.

O desenvolvimento do material foi uma etapa empírica que ofereceu uma experiência sobre os resíduos obtidos, resinas poliméricas e processos de moldagem. A investigação sobre as resinas permitiu identificar a resina de poliuretano à base de mamona como a mais adequada para essa aplicação, uma vez que é de matéria prima natural, atóxica e renovável. As experiências com as proporções de resina e resíduo demonstraram a compatibilidade entre eles.

As análises técnicas dos materiais permitiram entender melhor as aplicações possíveis, de acordo com as características físicas. Foram consideradas também características sensoriais e estéticas do material. Em geral, o material apresentou boas características estéticas e mecânicas, com destaque para a amostra com 70% de borracha e 30% de resina. O desenvolvimento do produto considerou as possibilidades técnicas e estéticas do material.

Espera-se que os relatos de experiências, limitações e características do material desenvolvido sejam úteis para estudos futuros de cunho similar. As percepções sobre uniformidade, textura, aparência e possibilidades de aplicação também podem orientar desenvolvimentos futuros.

A experiência anterior da pesquisadora foi essencial para a escolha da aplicação. As alternativas de aplicação do material desenvolvido em cama para animais domésticos (*pets*) demonstraram uma ampla gama de usos, com maior ou menor prevalência do material. A escolha da versão final se baseou principalmente nessa prevalência, na facilidade de moldagem e na integração com ambientes domésticos variados.

Com a viabilidade técnica aqui relatada, espera-se também expandir as possibilidades de uso, tanto em mais produtos de uma mesma linha quanto em outras completamente diferentes. Cabe ainda realizar análises financeiras e de mercado, que não foram realizadas

nesse estudo. Além disso, deve-se analisar o ciclo de vida do produto com o composto desenvolvido, uma vez que se busca usos mais sustentáveis ao longo de toda a cadeia de valor.

Por fim, conclui-se que essa pesquisa alcançou seus objetivos, demonstrando ser factível a utilização dos resíduos gerados pela empresa. Isso ocorreu reintroduzindo um material que seria descartado em um novo ciclo de vida, a partir do desenvolvimento de um produto de design. A preocupação em produzir um artefato com valor agregado permeou esse trabalho, sendo o design uma atividade chave para esse fim.

## REFERÊNCIAS

ABIPLAST. **Perfil 2020**: a indústria de transformação e reciclagem de plástico no brasil. A Indústria de Transformação e Reciclagem de Plástico no Brasil. 2020. Disponível em: [http://www.abiplast.org.br/wp-content/uploads/2021/08/Perfil2020\\_abiplast.pdf](http://www.abiplast.org.br/wp-content/uploads/2021/08/Perfil2020_abiplast.pdf). Acesso em: 27 maio 2022.

ABINPET - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE PRODUTOS PARA ANIMAIS DE ESTIMAÇÃO (São Paulo/Sp) (org.). **Informações gerais do setor Pet**: a indústria pet e seus números. A Indústria Pet e seus números. Disponível em: [http://abinpet.org.br/infos\\_gerais/](http://abinpet.org.br/infos_gerais/). Acesso em: 27 maio 2022.

ADIDAS. **Adidas and Parley for the oceans showcase sustainability innovation at UN climate change event**. 2015. Acesso junho de 2020. <<https://www.adidas-group.com/en/media/news-archive/press-releases/2015/adidas-and-parley-oceans-showcase-sustainability-innovation-un-c/>>

ALVES, W. F.; ITO, E. D.; MALMONGE, J. A.; MAGALHÃES, W.L.E.; MATTOSO, L. H. C. Caracterização do compósito de poliuretano derivado do óleo de mamona (pur) com sílica obtida da planta “cavalinha”. **Anais do 9º. Congresso Brasileiro de Polímeros**, Campina Grande/PB, 2007.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D2240-15(2021)**: Standard Test Method for Rubber Property - Durometer Hardness. 2021. 13 p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D638-10**: Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics. 2014.

ANDRIETTA, A. J. **Pneus e meio ambiente**: um grande problema requer uma grande solução. 2002. Disponível em: Acesso em: <<https://pt.scribd.com/doc/15706935/Pneus-e-Meio-Ambiente>> 08 jul. 2021.

ANJOS, M. R. O. **Avaliação do emprego de borrachas SBR utilizadas em solas de calçados pretos de uso da marinha do Brasil**. (Mestrado) Engenharia Metalúrgica e de Materiais, COPPE/UFRJ, 2007.

ARRUDA, A. J. V. **Design & Complexidade**. Rio de Janeiro: Editora Blucher, 2017.

BLACK, J. T.; KOHSER, R. A. **DeGarmo's materials and processes in manufacturing**. 30th. ed. Wiley: Spi Global, 2019. 1076 p.

BORBA, C; MAURO, C. **A influência da sustentabilidade no processo de design de produto.** Disponível em: <<https://ensu2008.paginas.ufsc.br/files/2015/09/%C3%81-influ%C3%Aancia-da-sustentabilidade-no.pdf>> Acesso em: 05 de agosto de 2021.

BOTH, Francielle; FISCHER, Augusto. **Gestão e Contabilidade Ambiental.** In: UNOESC & CIÊNCIA, 2017, Joaçaba. **E-Journals.** Joaçaba: Unoesc, 2017.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010. **Política Nacional de Resíduos Sólidos.** Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. D.O.U de 03/08/2010, pág. nº 3

BRASIL. **Resolução CONAMA Nº 416/2009** - Dispõe sobre a prevenção à degradação ambiental causada por pneus inservíveis e sua destinação ambientalmente adequada, e dá outras providências. - Data da legislação: 30/09/2009 - Publicação DOU Nº 188, de 01/10/2009, págs. 64-65.

BRITO, K. J. S. **Nanocompósitos de borracha SBR com nanoargila organicamente modificada.** 86 f. 2009. Dissertação (Mestrado)-Escola de Engenharia, Programa de PósGraduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

BUDAPEST BUSINESS JOURNAL (Budapest). Mti – Econews (org.). **Hot & Cold Therm develops tyre-recycling technology.** 2021. Disponível em: <https://bbj.hu/economy/environment/recycling/hot-and-cold-therm-develops-tyre-recycling-technology>. Acesso em: 09 ago. 2021.

BUSS, A. H. *et al.* **Processo de reciclagem de pneus e resíduos de borracha.** BR n. WO 2017 /152249. Depósito: 07 mar. 2017. Concessão: 14 set. 2017. Organização Mundial da Propriedade Intelectual, 2017.

CAMARGO, Kevyann Rodrigues *et al.* Joalheria Contemporânea: aplicação de tecnologia laser CO2 em borracha EPDM. 13 Congresso Pesquisa & Desenvolvimento em Design. **Anais ...** Univille, Joinville, 05 nov. 2018.

CARVALHO, D. S; SANTOS, D. A; AGUIAR, M. A. S; LUNA, A. J. **Aspectos tecnológicos e patentários da recuperação ou aproveitamento de materiais poliméricos residuais no Brasil,** XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química, *Blucher Chemical Engineering Proceedings*, Volume 1, 2015, Pages 13588-13595, ISSN 2359-1757. Acesso em: <<http://dx.doi.org/10.1016/chemeng-cobeq2014-0742-24218-151166>>.

CIDADE, M; CAMARGO, K. **Tecnologia laser aplicada ao desenvolvimento de joias com reutilização da borracha EPDM.** Disponível em:< <https://www.researchgate.net/>

publication/328560295\_Tecnologia\_laser\_aplicada\_ao\_desenvolvimento\_de\_joias\_com\_reutilizacao\_da\_borracha\_EPDM> Acesso em: 05 de agosto de 2021.

CLIMATEACTION. **Adidas to produce 11 million pairs of shoes made from recycled plastic in 2019**. Acesso Junho 2020. <<http://www.climateaction.org/news/adidas-to-produce-11-million-shoes-made-from-recycled-plastic-in-2019>>

COSSA, M; SIRQUEIRA, A. S; SOARES, B. G. Desenvolvimento de elastômeros termoplásticos vulcanizados (TPV) a base de polipropileno com resíduo de pneu: I - Planejamento fatorial de experimentos. **Polímeros**, São Carlos, v. 19, n. 3, p. 190-195, 2009.

DALL'ANTONIA, A. C.; MARTINS, M. A.; MORENO, R. M. B.; MATTOSO, L. H. C.; GONÇALVES, P. S.; JOB, A. E. **Caracterização Mecânica e Térmica da Borracha Natural Formulada e Vulcanizada dos Clones: GT 1, IAN 873, PB 235 e RRIM 600**. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 19, n. 1, p. 63-71, 2009.

DRESCH, A.; LACERDA, D.P.; JÚNIOR, J.A.V.A. **Design science research: método de pesquisa para avanço da ciência e tecnologia**. Porto Alegre: Bookman, 2015.

ETRMA - European Tyre & Rubber Manufacturers' Association. **Circular Economy**. Brussels. 2019. Disponível em: <https://www.etrma.org/key-topics/circular-economy/>. Acesso em: 08 ago. 2021

FARIA *et al.* **Production of castor oil-based polyurethane resin composites reinforced with coconut husk fibres**. *J Polym Res* 27, 249 (2020). <https://doi.org/10.1007/s10965-020-02238-7>

FASTCOMPANY. **This Ugandan startup turns plastic waste into construction materials and COVID face shields**. Acesso junho 2020. <<https://www.fastcompany.com/90515737/this-ugandan-startup-turns-plastic-waste-into-construction-materials-and-covid-face-shields>>

FORBES. **Diane Von Furstenberg e Amazon se unem no mês da mulher**. Acesso Junho\_2020. Disponível em: <<https://forbes.com.br/negocios/2020/03/diane-von-furstenberg-e-amazon-de-unem-no-mes-da-mulher/>>.

FORMOSO, C. Apresentação 2 do livro in DRESCH, A.; LACERDA, D.; ANTUNES JÚNIOR, J. **Design science research: método de pesquisa para avanço da ciência e tecnologia**. Porto Alegre: Bookman, 2015.

FORREST, Martin. **Recycling and Re-use of Waste Rubber**. Shropshire: Smithers Rapra, 2014.

GONZALEZ, W. O.; SANTANA, R. M. C. **Tecnologias de reciclagem de resíduos de borracha**. 2012, Bento Gonçalves – RS, Brasil.

GURGEL, D. **Desenvolvimento de materiais poliméricos de poliuretano utilizando resíduos industriais e óleo de mamona**. (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Catarina, 2019.

HOLKA, H; JARZYNA, T. Recycling of car tires by means of Waterjet technologies. Scientific Session Of Applied Mechanics IX: AIP Publishing. **Proceedings...** Bydgoszcz, Poland, v. 1, n. 1822, p. 2-6, mar. 2017. Author(s). <http://dx.doi.org/10.1063/1.4977682>.

IMPERVEG. **Ficha técnica IMPERVEG® AGT 1315. 2022**. Disponível em: <https://imperveg.com.br/ficha/FICHA%20T%c3%89CNICA%20AGT%201315.pdf>. Acesso em: 20 dez. 2021.

INEOS-STYROLUTION (org.). **Terluran® ABS: product path finder**. Product Path Finder. 2020. Disponível em: [https://www.ineos-styrolution.com/INTERSHOP/web/WFS/Styrolution-Portal-Site/en\\_US/-/USD/ViewStandardCatalog-Browse?CategoryName=30060012&CategoryDomainName=Styrolution-STY\\_Product](https://www.ineos-styrolution.com/INTERSHOP/web/WFS/Styrolution-Portal-Site/en_US/-/USD/ViewStandardCatalog-Browse?CategoryName=30060012&CategoryDomainName=Styrolution-STY_Product). Acesso em: 22 jun. 2022.

INSECTA. **Relatório de Impacto Socioambiental**. 2. ed. Porto Alegre, 2020. Disponível em: <https://insectashoes.com/pages/greenfriday2020>. Acesso em: 20 set. 2021.

IOZZI, I. O.; MARTINS, G. S.; MARTINS, M. A.; FERREIRA, F. C.; JOB, A. E.; MATTOSO, L. H. C. Estudo da influência de tratamentos químicos da fibra de sisal nas propriedades de compósitos com borracha nitrílica. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, vol. 20, nº 1, p. 25-32, 2010.

KARANA, E., BARATI, B., ROGNOLI, V.; ZEEUW VAN DER LAAN, A. Material Driven Design (MDD): A Method to Design for Material Experiences. **International Journal of Design**, vol. 9, n. 2, 2015.

KASFLOOR (Guarulhos - Sp). **Linha de Produtos 2021**. Disponível em: <https://kasfloor.com.br/index.html>. Acesso em: 19 set. 2021.

KARANA, E., BARATI, B., ROGNOLI, V., & ZEEUW VAN DER LAAN, A. **Material Driven Design (MDD): A Method to Design for Material Experiences**. **International Journal of Design**. 2015 Aug 30. Disponível em: <http://www.ijdesign.org/index.php/IJDesign/article/view/1965>

KULA, D.; TERNAUX, É. **Materiologia: o guia criativo de materiais e tecnologias**. Tradução Alyne Azuma Rosenberg. - São Paulo: Editora Senac São Paulo, 2012.

LIMA, E.L.B; DIAS, L.M.M; OLIVEIRA, L. C.; HALASZ, M. R. T. Reutilização da Borracha Proveniente da Recauchutagem de Pneus na Confecção de Placas Isolantes Termoacústicas. XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química. **Anais...** Florianópolis. 19 out. 2014.

LAGARINHOS, CARLOS ALBERTO F. E TENÓRIO, JORGE ALBERTO S. **Tecnologias utilizadas para a reutilização, reciclagem e valorização energética de pneus no Brasil.** *Polímeros* [online]. 2008, v. 18, n. 2 [Acessado 3 Julho 2022] , pp. 106-118. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0104-14282008000200007>>. Epub 29 Jul 2008. ISSN 1678-5169. <https://doi.org/10.1590/S0104-14282008000200007>.

LOU, W.; ZHANG, W.; WANG, H.; JIN, T.; LIU, X. Influence of hydraulic oil on degradation behavior of nitrile rubber O-rings at elevated temperature. **Engineering Failure Analysis**, v. 92, p. 1-11, 2018.

MAGALHÃES, L. G. A. **Desvulcanização de resíduos de borracha e sua incorporação em componentes de calçado.** 2015. 73 f. Dissertação (Doutorado) - Curso de Engenharia Metalúrgica e Materiais, Feup, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2015.

MARKL, E.; LACKNER, M. Devulcanization Technologies for Recycling of Tire-Derived Rubber: A Review. **Materials**, 2020, 13, 1246.

MARSHALL, Rachael E.; FARAHBAKHS, Khosrow. Systems approaches to integrated solid waste management in developing countries. **Waste Management**, [S.L.], v. 33, n. 4, p. 988-1003, abr. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2012.12.023>.

MARINHO, N. P.; NASCIMENTO, E. M.; NISGOSKI, S.; MAGALHÃES, W. L. E.; NETO, S. C.; AZEVEDO, E. C. Caracterização física e térmica de compósito de poliuretano derivado de óleo de mamona associado com partículas de bambu. **Polímeros**, v. 23, n. 2, p. 201-205, 2013.

MERLINI, C. **Análise experimental de compósitos de poliuretano derivado de óleo de mamona e fibras de bananeira.** (Dissertação). Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia UFSC, Florianópolis/SC, 2011.

MICROJUNTAS. **A Empresa.** 2015. Disponível em: <https://www.microjuntas.com.br/empresa.php>. Acesso em: 08 maio 2021.

MORAIS, L. **Sustentabilidade ambiental: a percepção das gerações Baby Boomers, X e Y.** Faculdade Meridional – Imed Escola De Administração. Passo Fundo. 2016.

MORELI, G., ENDER, J. Upcycling: um novo caminho para a moda sustentável. **GAMPI PLURAL**, 17., 2017, Joinville. **Blucher proceedings...**, 2017. Disponível em:

<http://pdf.blucher.com.br.s3-sa-east-1.amazonaws.com/designproceedings/gampi2017/12.pdf>  
Acesso em: 05 de agosto de 2021.

MOTHÉ, C. G.; ARAÚJO, C. R. Compósitos de Poliuretano com Fibras de Curauá. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, vol. 14, nº 4, p. 274-278, 2004.

ONU. **Roteiro para a Localização dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável: Implementação e Acompanhamento no nível subnacional**. Global Taskforce of Local and Regional Governments, ONU-Habitat, PNUD, 2016.

ONU. **A ONU e o meio ambiente**. 2020. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/91223-onu-e-o-meio-ambiente>. Acesso em: 26 dez. 2021.

PAULO, Glauco D.; SARON, Clodoaldo. **Reciclagem De Elastômeros Por Desvulcanização Química E Física Combinadas**. Escola de Engenharia de Lorena, Departamento de Engenharia de Materiais, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

PLASTICS EUROPE. **Plastics - the Facts 2021**. Disponível em: <https://plasticseurope.org/knowledge-hub/plastics-the-facts-2021>

PROSPECTOR. **Infino LT-1100**. 2022. Disponível em: <https://www.ulprospector.com/plastics/pt/datasheet/293813/infino-lt-1100>. Acesso em: 20 maio 2022.

RODRIGUES, M. R. P. **Caracterização e utilização do resíduo da borracha de pneus inservíveis em compósitos aplicáveis na construção civil**. (Tese) Programa de Pós-graduação e Área de Ciências em Engenharia Ambiental, Escola de Engenharia de São Carlos, USP, 2008.

SALINI, R. B. **Utilização De Borracha Reciclada De Pneus Em Misturas Asfálticas**. Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil. Florianópolis. 2000.

SAMPIERI, R. H.; COLLADO, C. F.; LUCIO, M. P. B. **Metodologia de pesquisa**. 5 ed. Porto Alegre: Penso, 2013.

SCURACCHIO, C. H.; EIRAS, D.; SANTOS, S. C. Análise térmica por calorimetria exploratória diferencial de EPDM proveniente de rejeitos da indústria de autopeças. **Anais do 8º. Congresso Brasileiro de Polímeros**, Águas de Lindóia/SP, 2005.

SILVA, C. A. B.; COUTINHO, A. R. Avaliação da produção de anéis de vedação elastomérica: Estudo de caso em uma empresa do setor automotivo. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 8, e16410817040, 2021.

SILVA, N. G. S.; CORTAT, L. I. C. O.; ORLANDO, D.; MULINARI, D. R. Evaluation of rubber powder waste as reinforcement of the polyurethane derived from castor oil. **Waste Management**, v. 116, p. 131-139, 2020.

SOARES, L.; FARIA, A. C.; GONÇALVES, F.; TOMOYOSE, F. H. Análise Dos Custos Incorridos Na Reciclagem De Resíduos De Elastômeros: Um Estudo Em Empresa De Autopeças Do Grande Abc. Xxi Congresso Brasileiro De Custos. Associação Brasileira De Custos. **Anais...** São Leopoldo - Rs - Brasil.

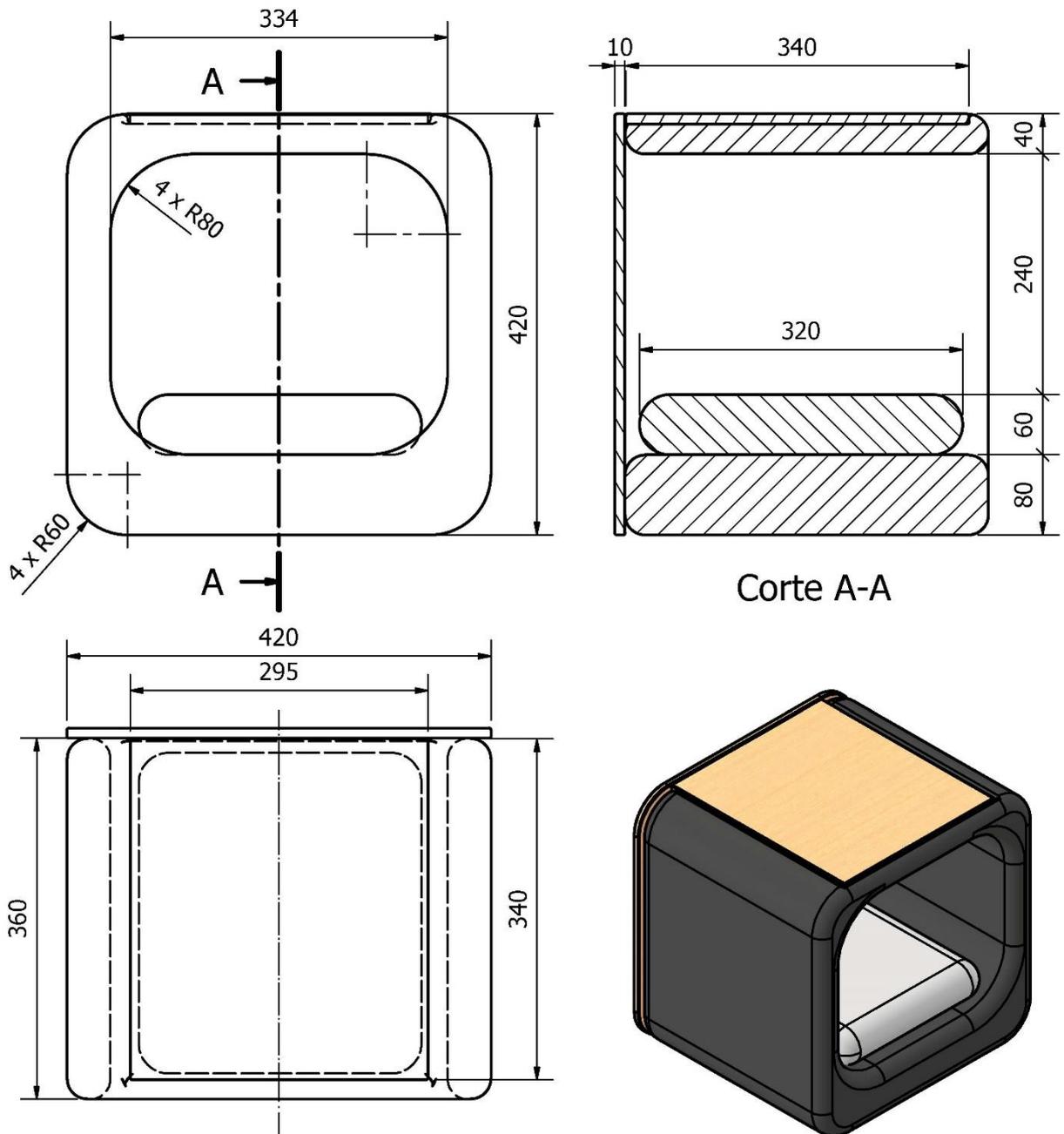
THOMPSON, R. **Materiais sustentáveis, processos e produção**. São Paulo: Editora Senac São Paulo, 2015.

TOSCAN, E.; VANIN, A. B.; FRINHANI, E. D. M. D.; MARQUEZI, S. L. Potencial de utilização de resíduos da agricultura para a produção de embalagens biodegradáveis. **Anuário Pesquisa e Extensão Unoesc Joaçaba**, [S. l.], v. 3, p. e16663, 2018. Disponível em: <https://portalperiodicos.unoesc.edu.br/apeuj/article/view/16663>. Acesso em: 29 abr. 2022.

TRENDWATCHING. 2020 **Trends**. Disponível em: <https://trendwatching.com/quarterly/2019-11/5-trends-2020/#green-pressure>, Acesso Junho 2020.

WWF INTERNACIONAL (Suíça). Dalberg (ed.). **Solucionar a poluição plástica: transparência e responsabilização**. Genebra: Dalberg Advisors, 2019. 50 p.

## APÊNDICE A - Detalhamento técnico da cama pet



## Termo de Autorização para Publicação de Teses e Dissertações

Na qualidade de titular dos direitos de autor da publicação, autorizo a Universidade da Região de Joinville (UNIVILLE) a disponibilizar em ambiente digital institucional, Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/IBICT) e/ou outras bases de dados científicas, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a Lei nº 9610/98, o texto integral da obra abaixo citada, para fins de leitura, impressão e/ou download, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data 08/09/2022.

1. Identificação do material bibliográfico: ( ) Tese ( ) Dissertação  Relatório Técnico

2. Identificação da Tese ou Dissertação:

Autor: Clara Andrezza

Orientador: Danilo Corrêa Silva

Coorientador: Noeli Sellin

Data de Defesa: 04/08/2022

Título: Contribuição do design de produtos no aproveitamento de resíduos industriais de artefatos de borracha.

Instituição de Defesa: Univille

3. Informação de acesso ao documento:

Pode ser liberado para publicação integral  Sim ( ) Não

Havendo concordância com a publicação eletrônica, torna-se imprescindível o envio do(s) arquivo(s) em formato digital PDF da tese, dissertação ou relatório técnico.



Assinatura do autor

Joinville 08/09/2022

Local/Data