



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CAMPUS BLUMENAU
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA TÊXTIL

Jacqueline Rodrigues Moraes

Desenvolvimento e caracterização de um compósito polimérico reforçado com
resíduos têxteis de algodão beneficiado

Blumenau

2023

Jacqueline Rodrigues Moraes

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação
em Engenharia Têxtil da Universidade Federal de Santa
Catarina para obtenção do título de Mestre em Engenharia
Têxtil.

Orientador: Dra. Prof.^a Rita de Cássia Siqueira Curto Valle
Coorientadora: Dra. Prof.^a Fernanda Steffens

Blumenau

2023

**Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.**

Rodrigues Moraes, Jacqueline

Desenvolvimento e caracterização de um compósito polimérico reforçado com resíduos têxteis de algodão beneficiado / Jacqueline Rodrigues Moraes ; orientadora, Rita de Cássia Siqueira Curto Valle, coorientador, Fernanda Steffens, 2023.

119 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Blumenau, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Têxtil, Blumenau, 2023.

Inclui referências.

1. Engenharia Têxtil. 2. Óleo de mamona. 3. Poliéster. 4. Botão. 5. Felpadeira. I. de Cássia Siqueira Curto Valle, Rita. II. Steffens, Fernanda. III. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Têxtil. IV. Título.

Jacqueline Rodrigues Moraes

**Desenvolvimento e caracterização de um compósito polimérico reforçado
com resíduos têxteis de algodão beneficiado**

O presente trabalho em nível de Mestrado foi avaliado e aprovado, em de 21 de agosto de 2023, por banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Profa. Dra. Rita de Cassia Siqueira Curto Valle
Universidade Federal de Santa Catarina

Profa. Dra. Andrea Cristiane Krause Bierhalz
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Dr. Brenno Henrique Silva Felipe
Universidade Federal de Santa Catarina

Certificamos que esta é a versão original e final do trabalho de conclusão que foi julgado adequado para obtenção do título de Mestre em Engenharia Têxtil.

Prof.(a) Fernanda Steffens, Dr.(a)
Coordenação do Programa de Pós-Graduação

Prof.(a) Rita de Cassia Siqueira Curto Valle, Dr.(a)
Orientadora

Blumenau, 2023

RESUMO

A indústria têxtil tem como característica a geração de resíduos sólidos provenientes de processos produtivos. Diante das questões ambientais de sustentabilidade que tem sido cada vez mais abordada, desenvolver novos materiais que reutilizem esses rejeitos é uma alternativa para reduzir os impactos ambientais. Apesar de o setor têxtil ser conhecido principalmente por malhas e tecidos, um ramo muito usado e pouco explorado na literatura dentro da cadeia têxtil é o de aviamentos. Tradicionalmente, botões são desenvolvidos a partir de resina de poliéster e metais. Uma alternativa para a mitigação dos impactos que os resíduos podem causar ao meio ambiente é a incorporação de fibras têxteis no desenvolvimento de compósitos. Dessa forma, a presente dissertação tem como objetivo o desenvolvimento de compósito a partir do reaproveitamento de resíduos de algodão provenientes do processo de acabamento da felpadeira para a manufatura de aviamentos. Para isso, foi utilizado resina de poliéster insaturado e resina de óleo de mamona. Foram realizadas diferentes concentrações de reforço para as análises de resistência à tração, ensaio de dureza, análise termogravimétrica, análise macroscópica, análise de imagem no *software* Image J, microscopia eletrônica de varredura e análise de costurabilidade. De acordo com as análises realizadas, os compósitos de resina de poliéster apresentaram um aumento de resistência à tração conforme é aumentado a proporção da fibra, sendo que o contrário ocorre com os compósitos de mamona. No ensaio de dureza, os compósitos de poliéster apresentaram maiores valores que os compósitos de mamona. Para o ensaio térmico, o compósito de mamona com resíduo apresentou maior estabilidade térmica em relação ao poliuretano puro. Entretanto, ressalta-se que o compósito de poliéster apresentou-se mais homogêneo em comparação com o compósito de mamona na análise macroscópica, também corroborados com a análise a partir do *software* Image J. Os botões a partir de compósitos não apresentaram problemas de quebra de agulha ao serem costuradas. Assim, é possível a utilização de fibras de algodão beneficiada proveniente do processo de felpagem para o desenvolvimento de botões, utilizando tanto a resina de poliéster quanto a resina de mamona.

Palavras-chave: óleo de mamona, poliéster, botão, sustentabilidade, felpadeira.

ABSTRACT

The textile industry is characterized by the generation of solid waste from production processes. Given the environmental issues of sustainability that have been increasingly addressed, developing new materials that reuse these wastes is an alternative to reducing environmental impacts. Although the textile sector is known mainly for knits and fabrics, a branch that is widely used and little explored in the literature within the textile chain is trimming. Traditionally, buttons are developed from polyester resin and metals. An alternative to mitigating the impacts that waste can cause to the environment is the incorporation of textile fibers in the development of composites. Therefore, the present dissertation aims to develop a composite from the reuse of cotton waste from the terrycloth finishing process for the manufacture of trimmings. For this, unsaturated polyester resin and castor oil resin were used. Different concentrations of reinforcement were carried out for tensile strength analysis, hardness test, thermogravimetric analysis, macroscopic analysis, image analysis in Image J software, scanning electron microscopy and seamability analysis. According to the analyzes carried out, polyester resin composites showed an increase in tensile strength as the fiber proportion increased, whereas the opposite occurred with castor bean composites. In the hardness test, polyester composites showed higher values than castor bean composites. For the thermal test, the castor bean composite with residue showed greater thermal stability compared to pure polyurethane. However, it is noteworthy that the polyester composite was more homogeneous compared to the castor bean composite in the macroscopic analysis, also corroborated with the analysis using the Image J software. The composite buttons did not present problems with breakage. needle when sewing. Thus, it is possible to use cotton fibers benefited from the fluffing process to develop buttons, using both polyester resin and castor resin.

Keywords: castor oil, polyester, button, sustainability, terrycloth.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Processos da indústria têxtil.....	18
Figura 2 – Felpadeira	20
Figura 3 – Cilindros da felpadeira.....	21
Figura 4 – Comparação entre a malha antes (a) e após a felpagem (b)	21
Figura 5 – Aviamentos no ramo da indústria têxtil.....	24
Figura 6 – Fluxograma de processo da manufatura de botão	27
Figura 7 – Tamanhos padrão de botões	28
Figura 8 – Tipos de botões: com pé (a); com 4 furos (b); pressão flexível (c); botão forrado com pé (d, e); forrado com 4 furos (f); pressão fixo (g, h, i).	29
Figura 9 – Classificação dos substratos fibrosos utilizados em compósitos	31
Figura 10 – Compósito reforçado com substrato fibroso	32
Figura 11 – Estrutura da matriz: (a) termoplástica, (b) termorrígida	33
Figura 12 – Reação para obtenção da resina de poliéster termorrígida.....	36
Figura 13 – Semente de mamoneira	38
Figura 14 – Classificação de fibras vegetais	43
Figura 15 – Fibra vegetal	44
Figura 16 – Fluxograma do processo de obtenção do compósito	51
Figura 17 – Resíduo de fibra de algodão do processo de felpagem	52
Figura 18 – Peróxido de metil etil cetona em dimetil ftalato	53
Figura 19 – Resina de mamona (componente A + componente B).....	54
Figura 20 – Etapas do processo de fabricação das placas dos compósitos	56
Figura 21 – (a) Máquina cilíndrica; (b) chapa do compósito na máquina	57
Figura 22 – Corte dos corpos de prova à laser	58
Figura 23 – Equipamento universal para ensaios de resistência à tração.	59
Figura 24 – Durômetro utilizado para realizar os ensaios de dureza.	60
Figura 25 – Etapas de manufatura do compósito.....	62
Figura 26 – Chapa do compósito	63
Figura 27 – Corte da chapa do botão (a) Chapa e (b) botões cortados	63
Figura 28 – Botões de PES submersos em água para o processo de cura	64
Figura 29 – Curvas tensão-deformação dos compósitos de poliéster.....	67
Figura 30 – Valores médios do limite de resistência à tração das amostras de PES..	68
Figura 31 – Curvas tensão-deformação dos compósitos de mamona	70

Figura 32 – Valores médios do limite de resistência à tração das amostras de mamona	72
Figura 33 – Ensaio de dureza <i>shore</i> para o compósito de resina de poliéster com substrato têxtil	73
Figura 34 – Ensaio de dureza <i>shore</i> para o compósito de resina de mamona com substrato têxtil	74
Figura 35 – Pontos médios do ensaio de tração da mistura de poliéster, com os tratamentos e as composições de fibras: (1) 0 %, (2) 0,005 %, (3) 0,07 %, (4) 0,010 %, (5) 0,013 %, (6) 0,015 % e (7) 0,020 % (da esquerda para a direita). Os ajustes da figura são polinomiais quadrático (vermelho) e linear (azul) referente aos pontos médios.....	76
Figura 36 – Pontos médios do ensaio de tração da mistura de mamona, com os tratamentos e as composições de fibras: (1) 0 %, (2) 0,005 %, (3) 0,07 %, (4) 0,010 %, (5) 0,013 %, (6) 0,015 % e (7) 0,020 % (da esquerda para a direita). Os ajustes da figura são polinomiais quadrático (vermelho) e linear (azul) referente aos pontos médios.....	78
Figura 37 – Gráfico de Pareto (a) mistura de poliéster/algodão para ensaio de tração, (b) mistura resina de mamona/algodão para ensaio de tração.	79
Figura 38 – Pontos médios do ensaio de dureza da mistura de poliéster, com os tratamentos e as composições de fibras: (1) 0 %, (2) 0,005 %, (3) 0,07 %, (4) 0,010 %, (5) 0,013 %, (6) 0,015 % e (7) 0,020 % (da esquerda para a direita). Os ajustes da figura são polinomiais quadrático (vermelho) e linear (azul) referente aos pontos médios.....	81
Figura 39 – Pontos médios do ensaio de dureza do compósito de poliéster, com os tratamentos e as composições de fibras: (1) 0 %, (2) 0,005 %, (3) 0,07 %, (4) 0,010 %, (5) 0,013 %, (6) 0,015 % e (7) 0,020 % (da esquerda para a direita). Os ajustes da figura são polinomiais quadrático (vermelho) e linear (azul) referente aos pontos médios.....	83
Figura 40 – Gráfico de Pareto (a) mistura de poliéster/algodão para ensaio de dureza, (b) mistura mamona/algodão para ensaio de dureza	84
Figura 41 – Curvas térmicas das amostras 100% resina de poliéster (a), poliéster/0,020 % de algodão (b), 100% resina de mamona (c) e mamona/algodão 0,020 % (d) de TGA/DTG	85

Figura 42 – Análise macroscópica do compósito de resina de poliéster com fibra de algodão	87
Figura 43 – Análise macroscópica do compósito de resina de mamona com fibra de algodão	87
Figura 44 – Corpos de prova de resina de poliéster (a) e de mamona (b) com as proporções: 0 %, 0,005 %, 0,07 %, 0,010 %, 0,013 %, 0,015 % e 0,020 %.....	88
Figura 45 – Análise Image J do compósito de resina de poliéster com fibra de algodão	89
Figura 46 – Análise Image J do compósito de resina de mamona com fibra de algodão	90
Figura 47 – Micrografia eletrônica da interação entre a resina de poliéster com 0,007 % de algodão – 1000x.....	91
Figura 48 – Micrografia eletrônica de resina de mamona com 0,007 % de algodão – 1000x	92
Figura 49 – Processo de costurabilidade	92
Figura 50 – Análise de costurabilidade do botão de resina de poliéster com fibra de algodão	93
Figura 51 – Análise de costurabilidade do botão de resina de mamona com fibra de algodão	94

LISTA DE TABELA

Tabela 1 – Propriedades do poliéster ortoftálico	35
Tabela 2 – Propriedades da resina de poliéster cristal ALPHA 190	52
Tabela 3 – Propriedades do BRASNOX® DM-50	53
Tabela 4 – Características da resina de mamona RP 1315 C	54
Tabela 5 – Composição das proporções mássica de resina de PES e fibra de algodão dos corpos de prova em cada tratamento do planejamento experimental em mistura	55
Tabela 6 – Média das tensões máximas (MPa) dos compósitos de poliéster.	68
Tabela 7 – Média das tensões máximas (MPa) dos compósitos de mamona.	71
Tabela 8 – Análise de variância linear e quadrática do compósito de poliéster/algodão para ensaio de tração.....	75
Tabela 9 – Análise do ajuste geral do modelo quadrático do compósito de poliéster/algodão para ensaio de tração	75
Tabela 10 – Análise de variância linear e quadrática do compósito de resina de mamona/algodão para ensaio de tração	76
Tabela 11 – Análise do ajuste geral do modelo quadrático do compósito de resina de mamona/algodão para ensaio de tração	77
Tabela 12 – Análise de variância linear e quadrática do compósito de poliéster/algodão	80
Tabela 13 – Análise do ajuste geral do modelo quadrático do compósito de poliéster/algodão	80
Tabela 14 – Análise de variância linear e quadrática do compósito de mamona para ensaio de dureza.....	82
Tabela 15 – Análise do ajuste geral do modelo quadrático do compósito de mamona para ensaio de dureza.....	82

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Tipos de botões de acordo com a matéria-prima	28
Quadro 2 – Estudos de compósitos feitos com fibras naturais.....	48

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

α	Alpha
ABIT	Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
β	Beta
C	Carbono
°C	Grau Celsius
°C/min	Grau Celsius por minuto
cm	Centímetro
Cp	Calor específico
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
ϵ	Elasticidade
FTIR	Espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier
g	Grama
g/cm ³	Grama por centímetro cúbico
g/cm ²	Grama por centímetro ao quadrado
Gpa	Giga Pascal
OH	Hidróxido
KOH	Hidróxido de potássio
LCM	Laboratório Central de Microscopia
kN	KiloNewton
Mpa	Mega Pascal
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura
mg	Miligrama
mL	Mililitro
mm	Milímetro
mm/min	Milímetro por minuto
Min	Minuto
O	Oxigênio
MEKP	Peróxido de metiletil cetona
PET	Polietileno tereftalato
PES	Poliéster
PLA	Poli (ácido láctico)
Seg	Segundo

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 JUSTIFICATIVA	13
1.2 OBJETIVOS	15
1.2.1 Objetivo Geral.....	15
1.2.2 Objetivos Específicos	15
1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	15
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1 INDÚSTRIA TÊXTIL	17
2.2 RESÍDUO TÊXTIL	18
2.2.1 Processo de felpagem	19
2.3. RECICLAGEM E REAPROVEITAMENTO TÊXTIL	22
2.3.1 Sustentabilidade na indústria têxtil	23
2.4 AVIAMENTOS	24
2.4.1 Botão	25
2.4.2 Processo de produção de botões	25
2.4.3 Tipos de botões	28
2.5 MATERIAIS COMPÓSITOS	30
2.5.1 RESINAS	32
2.5.1.1 Resina de Poliéster	34
2.5.2 ÓLEO DE MAMONA	37
2.5.2.1 Resina poliuretano a base de mamona	39
2.5.3 Biocompósitos	40
2.5.4 COMPÓSITO DE MATRIZ POLIMÉRICA A PARTIR DE SUBSTRATOS TÊXTEIS	41
2.6 FIBRA TÊXTIL	42
2.6.1 Algodão	45
2.7 ESTUDOS SOBRE COMPÓSITOS	47
3 MATERIAIS E MÉTODOS	51
3.1 MATERIAIS	51

3.1.1 Fibras.....	51
3.1.2 Resinas.....	52
3.2 MÉTODOS	54
3.2.1 Manufatura dos compósitos.....	55
3.2.2 Processo de manufatura dos compósitos	56
3.2.3 Ensaio de resistência à tração	58
3.2.4 Ensaio de dureza	59
3.2.5 Análise estatística	60
3.2.6 Análise termogravimétrica	60
3.2.7 Análise macroscópica.....	61
3.2.8 Software <i>Image J</i>	61
3.2.9 Microscopia eletrônica de varredura	61
3.3 PRODUTO	62
3.3.1 Etapa de manufatura do botão	62
3.3.2 Corte da chapa para botão de poliéster	62
3.3.3 Corte da chapa no formato de botão	63
3.3.4 Cura dos botões	64
3.3.5 Acabamento	64
3.3.6 Análise de costurabilidade do botão	65
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	66
4.1 Caracterização do compósito	66
4.1.1 Ensaio de resistência à tração com resina de poliéster	66
4.1.2 Ensaio de resistência à tração com resina de mamona	70
4.1.3 Ensaio de dureza	73
4.1.4 Análise estatística	74
4.1.5 Análise termogravimétrica	84
4.1.6 Análise macroscópica.....	86
4.1.7 Software <i>Image J</i>	88
4.1.8 Microscopia eletrônica de varredura	90
4.1.9 Análise de costurabilidade do botão	92
5. CONCLUSÕES	95
6.SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	96
REFERÊNCIAS.....	97

1 INTRODUÇÃO

A indústria têxtil é uma das principais indústrias de bens de consumo do mundo e está associada a grande parte dos produtos utilizados no cotidiano da população, desde o vestuário até os têxteis de uso industrial.

O setor têxtil representa, no Brasil, cerca de 5 % do Produto Interno Bruto (PIB) nacional e 20 % dos empregos na atividade econômica (ABIT, 2022). Além disso, o estado de Santa Catarina é considerado o maior polo têxtil do Brasil, tendo no Vale do Itajaí uma produção de cerca de 40 % de toda a manufatura nacional de artigos têxteis. Esta região também é classificada como a maior fabricante de malhas da América Latina (ABIT, 2022).

O setor têxtil também é conhecido como um dos grandes geradores de resíduos (STANESCU, 2020). Para Cruz (2017), isso ocorre devido ao resultado dos processos produtivos da indústria têxtil, principalmente à efemeridade no ciclo de vida dos produtos de moda, que leva à produção e o consumo desenfreado, com data programada de obsolescência, geralmente a cada seis meses.

Apesar disso, os consumidores têm se conscientizado cada vez mais, preferindo produtos que apresentem apelo sustentável e, por consequência, as indústrias precisam desenvolver novas formas de produção e procurar integrar a sustentabilidade em todo o seu processo, desde o desenvolvimento até o descarte do produto (WAHEED *et al.*; 2020).

A sustentabilidade é um tema atual e, as práticas sustentáveis são tidas como uma solução para reparar e minimizar várias ações que têm prejudicado o planeta, como o aquecimento global, a poluição, a deflorestação, entre outras, e uma das principais causas é a industrialização (GURLEK; KOSEOGLU, 2021). Já para Panwar; Kaushik; Kothari (2011), o aquecimento global é gerado pelo elevado consumo de petróleo, utilizado como matéria-prima para uma grande quantidade de produtos.

Isso tem motivado pesquisadores a focarem sua atenção no uso da fibra celulósica como reforço em matrizes poliméricas. As fibras lignocelulósicas são um recurso disponível em abundância em todos os países, barato e facilmente renovável. Além disso, devido às suas propriedades, as fibras vegetais celulósicas apresentam um grande potencial para uso em reforço polimérico (RANGAPPA *et al.*, 2021).

Assim sendo, os produtos ecológicos surgem para substituir os antigos métodos de produção que utilizam os recursos naturais de forma descontrolada, a fim de diminuir os impactos ambientais. Uma dessas substituições consiste na produção de compósitos que venham trocar a matéria-prima não renovável e, ainda possibilita a reciclagem de vários tipos de resíduos que se constituem como alternativas sustentáveis para produtos já existentes no mercado (AMULYA *et al.*, 2021).

A fibra de algodão beneficiada é composta principalmente por celulose e pode ser usada como recurso para a produção de produtos à base de resíduo de substrato têxtil, como compósitos (TODOR *et al.*, 2019).

Segundo Patti, Cicala e Acierno (2021), as aplicações de resíduos têxteis para fabricação de compósitos mostram-se uma excelente alternativa na área de desenvolvimento de novos materiais que visem à sustentabilidade. O que pode levar a uma diminuição dos impactos ambientais que são gerados, além de oportunizar a produção de novos materiais e peças de vestuários diferenciados e exclusivos (STANESCU, 2020).

Embora o setor têxtil seja conhecido principalmente pelo desenvolvimento de malhas e tecidos, outro ramo muito usado e pouco explorado na cadeia têxtil é o de aviamentos. Para Jesus (2018), os aviamentos são materiais usados para complementar a peça do vestuário, devido à funcionalidade que apresentam.

Portanto, ao levar esses aspectos em consideração, o presente estudo tem como finalidade o desenvolvimento de um material compósito reforçado por resíduos têxteis provenientes do processo de acabamento de felpadeira em matriz polimérica de poliéster e óleo de mamona, que pode ser utilizado para os mais diversos fins, inclusive para a manufatura de botões.

1.1 JUSTIFICATIVA

Atualmente, a indústria têxtil gera diariamente toneladas de resíduos têxteis provenientes de seus processos produtivos (GEORGE *et al.*, 2022). São substratos que poderiam ser reciclados e transformados em um novo produto ao invés de serem simplesmente descartados em lixões e em aterros sanitários.

De acordo com a normativa 12.5 da Organização das Nações Unidas (ONU), prevê-se que até 2030 seja reduzida substancialmente a geração de resíduos por meio da prevenção, redução, reciclagem e reuso de materiais (UNIDAS, 2022).

Empresas têxteis procuram, nos seus processos, reutilizar materiais. Um exemplo, a citar, é a indústria de aviamentos, especificamente de botões, que tem buscado alternativas diante da competitividade na indústria têxtil perante a demanda por produtos diferenciados. Com o propósito de sustentabilidade, uma empresa de Santa Catarina reaproveita os resíduos gerados durante a produção de botões. Os materiais termorrígidos não se fundem em elevada temperatura, por isso, os resíduos de botões são triturados e adicionados junto à resina virgem para a manufatura de novos aviamentos.

Outras possibilidades consistem na obtenção de compósito com matriz polimérica e o reaproveitamento de resíduos como sabugo de milho (OLIVEIRA, 2015), casca de arroz (AZEVEDO, 2016), papel reciclado (VALENTE *et al.* 2017), borra de café (VIEIRA, 2021), entre outros. Outro aspecto que se refere aos botões sustentáveis são os botões de origem natural, dentre eles tem-se os de madeira (MARCEL, 1994) de reflorestamento (RADTKE, 2022) e de casca de coco (CHILD, 1944).

Diante disso, o desenvolvimento de novos materiais com base na reciclagem é baseado no reaproveitamento de resíduos têxteis e prolongamento de vida útil de fibras têxteis que iriam diretamente para o descarte, o que contribui para minimizar os impactos ambientais e gerar novos produtos denominados ecologicamente corretos (ALBUQUERQUE *et al.* (2021). Dentre eles, tem-se o resíduo de algodão gerado no processo de acabamento têxtil de felpagem, que consiste no pelucamento do avesso técnico da malha, com o objetivo de melhorar o isolamento térmico do material.

Os resíduos têxteis de fibras vegetais têm ganhado importância devido aos seus aspectos ambientais e do ponto de vista econômico e social. Além disso, são materiais promissores alternativos às fibras sintéticas ou à base de petróleo devido à sua abundância, biodegradabilidade, natureza reciclável e menor custo (SIKENG *et al.*, 2019).

A utilização de fibras vegetais para reforçar resinas derivadas de óleos vegetais permite a produção de compósitos biodegradáveis formados por materiais derivados de fontes renováveis (ARAÚJO, 2022). Utilizar resina biodegradável de poliuretano vegetal oriundo de óleo de mamona, além de contribuir para o meio ambiente, também agrega valor ao resíduo por meio do desenvolvimento de novos materiais compósitos e conseqüentemente de novos produtos (CHAKRABORTY, CHATTERJEE, 2020).

De fato, existem poucos estudos sobre compósitos reforçados com fibras de algodão como relatado por outros pesquisadores (MOHANTY; MISRA; DRZAL, 2005).

1.2 OBJETIVOS

Este trabalho é guiado por um objetivo geral, desdobrado em um conjunto de objetivos específicos.

1.2.1 Objetivo Geral

Reaproveitar resíduo têxtil de algodão proveniente da máquina de peluciadeira para o desenvolvimento materiais compósitos de botões que são usados no segmento de aviamentos.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Definir o percentual volumétrico de resíduo de fibrilas para o desenvolvimento do compósito incorporado às resinas de poliéster e de mamona;
- Produzir compósitos utilizando resina de poliéster e resina de óleo de mamona em escala de produção industrial para validar a mistura obtida em escala de laboratório;
- Investigar as propriedades morfológicas e térmicas do compósito por meio da microscopia eletrônica de varredura e análise termogravimétrica
- Avaliar a resistência à tração e de dureza dos compósitos;
- Avaliar a homogeneidade dos compósitos utilizando o *software* Image J, o aspecto macroscópico em termos de homogeneidade e características superficiais;
- Avaliar a costurabilidade do botão produzido.

1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A estrutura da dissertação será abordada nos seguintes capítulos:

- Capítulo 2 – A revisão bibliográfica de modo a apresentar os tópicos importantes que serão abordados;
- Capítulo 3 – Materiais e métodos: descrição das etapas do trabalho experimental elaborado para cumprir os objetivos definidos; este é dividido em três etapas: classificação da pesquisa; a forma como será realizado o desenvolvimento do trabalho; materiais e métodos utilizados para a elaboração do compósito;
- Capítulo 4 – Resultados e discussões: apresentação e discussão dos resultados obtidos no processo experimental;
- Capítulo 5 – Conclusões alcançadas no âmbito do presente trabalho.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para contextualizar o estudo, foi realizada uma revisão bibliográfica com o objetivo de demonstrar conceitos importantes para o entendimento do escopo do trabalho. Para isso, foram utilizados os seguintes termos das bases de dados Periódicos Capes, Scopus e Google Scholar com o operador booleano AND: “*composite*” AND “*textile waste*”; “*composite*” AND “*fiber*” AND “*castor*”; “*textile residue*”; “*cotton*” AND “*castor*”; “*composites*”; “*sustainability*” AND “*textile*”; “*buttom*” AND “*residue*” AND “*composite*”; “*trims*” AND “*residue*”.

2.1 INDÚSTRIA TÊXTIL

A indústria têxtil brasileira é a segunda maior indústria de transformação e está entre os quatro maiores produtores de malhas do mundo. O Brasil apresenta a maior cadeia têxtil completa do Ocidente, gerando a produção de aproximadamente 2 milhões de toneladas em 2020 (ABIT, 2022).

O setor de manufatura têxtil é constituído por um processo produtivo bastante diversificado, o qual tem como objetivo a transformação de fibras em fios, fios em tecidos, usados para o desenvolvimento de vestuário, têxteis para o lar bem como aplicações técnicas (ZHANG; BAIMA; 2017). Diante de todos os processos produtivos do setor têxtil, o acabamento é o que mais agrega valor com finalidade de melhorar as características físicas do material, como maciez, conforto e isolamento térmico, mas é também o que mais gera resíduo.

A Figura 1 demonstra uma visão do processo têxtil, desde a obtenção da fibra têxtil até o produto acabado. É possível observar na Figura 1 os processos de transformação da indústria têxtil bem como sua complexidade, onde cada cor representa um conjunto de processos de um mesmo segmento, tais como: fiação, onde ocorre a transição de fibra para fio; tecelagem plana, que é o processo de produção de tecido; malharia, que se refere a produção de malha; tingimento; acabamento; confecção; estamparia e tratamento de efluentes.

Apesar da importância da indústria têxtil na economia nacional, o processo emerge como um dos grandes responsáveis na geração diária de resíduos em que são descartados, principalmente em aterros sanitários ou que passam pelo processo de incineração (MARQUESONE; CARVALHO, 2022).

Figura 1 – Processos da indústria têxtil



Fonte: MAESTRI, OLIVEIRA E STEFFENS (2018)

2.2 RESÍDUO TÊXTIL

Segundo Amaral (2006), o resíduo pode ser denominado como toda a sobra de matéria-prima que não possui mais utilidade, e normalmente é tratado como não desejado pelas empresas e, muitas vezes, são descartados de forma incorreta.

A Norma ABNT NBR 10.004/2004, sobre a classificação de resíduos sólidos, exemplifica que os resíduos são resultados de práticas industriais que podem apresentar características de combustibilidade e biodegradabilidade. Além disso, quando entram em contato com certos materiais, sofrem contaminação, podendo assumir propriedades tóxicas.

O resíduo industrial é um dos maiores responsáveis pela contaminação ao meio ambiente quando são descartados e tratados como indesejáveis (NIINIMÄKI *et al.*, 2020).

De acordo com os dados da Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública, em 2019 o Brasil produziu cerca de 80 milhões de toneladas de resíduos sólidos, o qual a fração orgânica corresponde por aproximadamente 45 % da composição de resíduos, representando um pouco mais de 37 milhões de toneladas por ano. Estima-se que são produzidas 175 mil toneladas de resíduos têxteis por ano no Brasil (RUSCHEL *et al.*, 2022).

Segundo Ranasinghe (2021), os impactos ambientais devido aos resíduos na indústria têxtil se iniciam já nos estágios iniciais de produção, como no cultivo do algodão, que é uma das principais matérias-primas utilizadas no setor têxtil e, após a sua colheita são gerados os resíduos sólidos provenientes do seu descaroçamento.

Além disso, durante o processo produtivo do setor têxtil, a quantidade de geração de resíduos sólidos é diretamente proporcional ao consumo de matéria-prima, sendo que a fase de fiação apresenta perdas em torno de 15 % (TONIOLLO; ZANCAN; WÜST, 2015). Outras etapas, como tecelagem, malharia, acabamentos e a confecção dão origem a impactos ainda maiores, onde é considerada toda a sobra de matéria-prima, como remanescentes de fios e substratos processados (BHATIA *et al.*, 2014).

Entretanto, a reciclagem e o reaproveitamento de resíduos sólidos têxteis é, provavelmente, a mais complexa etapa para o gerenciamento da cadeia de resíduos sólidos, já que envolve pessoas que participam indiretamente do processo produtivo de uma empresa, bem como todas as legislações que cingem essa questão (CORREIA *et al.*, 2018).

2.2.1 Processo de felpagem

O processo de felpagem, decorrente do equipamento conhecido como felpadeira/peluciadeira, consiste em um acabamento mecânico de desfibramento superficial das fibras, concedendo ao tecido de malha o aspecto flanelado (SANTOS, 2018). A Figura 2 apresenta o equipamento supracitado.

Figura 2 – Felpadeira



Fonte: Autora, 2023

Esse procedimento consiste em cortar e peluciar os fios das laçadas presentes no avesso técnico da malha de moletom a fim de dar o efeito de peluciamiento no tecido. Para isso, o rolo de malha passa por vários cilindros com guarnições que fazem o atrito na sua superfície. A Figura 3 apresenta esses cilindros.

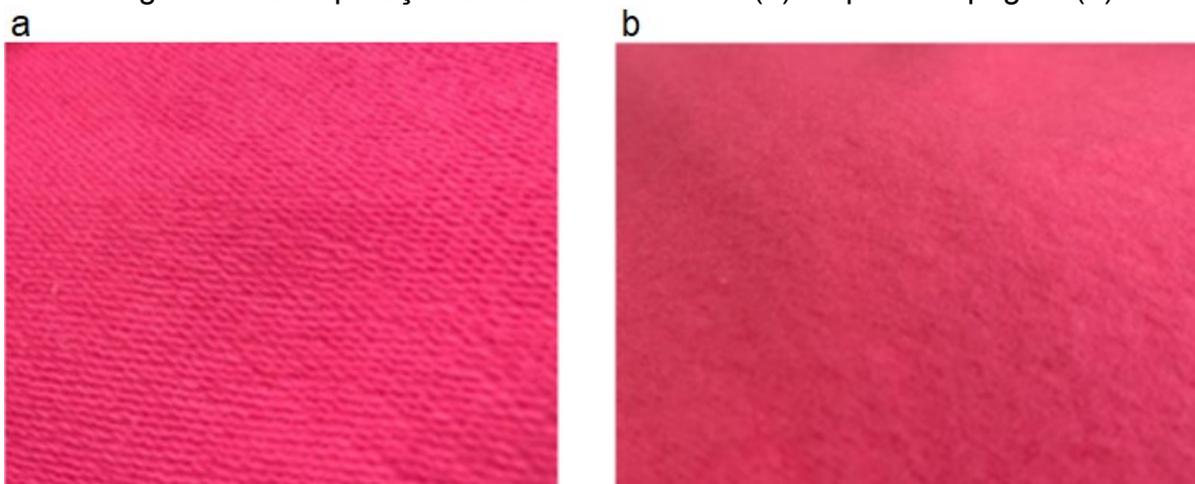
Figura 3 – Cilindros da felpadeira



Fonte: Autora, 2023

A Figura 4 apresenta a diferença entre a malha antes (a) e após a felpagem (b) da malha de algodão.

Figura 4 – Comparação entre a malha antes (a) e após a felpagem (b)



Fonte: Autora, 2023

Conforme ilustrado na Figura 4, o processo de peluciar oferece maciez e isolamento térmico, características da malha de moletom no seu avesso técnico, ou seja, a parte que está em contato com a pele. Entretanto, o processo de felpagem gera resíduos que se constituem em fibrilas, que corresponde à composição do artigo fabricado, podendo ser 100 % de algodão ou mescla algodão/e poliéster, por exemplo.

Este resíduo possui, em sua maioria, destinação em aterros industriais, que solucionam uma parte dos passivos ambientais, como a destinação em lixão e queima a céu aberto (MAEBARA; VALLE; CORREIA; VALLE, 2022).

2.3. RECICLAGEM E REAPROVEITAMENTO TÊXTIL

Conforme Priberam (2022), o termo reciclagem, é a recuperação da parte reutilizável dos dejetos do sistema de produção ou de consumo, para reintroduzi-los no ciclo de produção. O termo reaproveitamento é definido como “usar de novo” ou “usar novamente”.

A reciclagem coloca o material em um novo ciclo de produção, transformando-o em outro produto, com nova utilidade. Esse processo evita o desperdício e reduz impactos ambientais, pois evita um novo ciclo de produção para extração de matérias-primas (MANICKAM; DURAISAMY, 2019).

De acordo com RYŁKO-POLAK *et al.* (2022), a reciclagem dos resíduos têxteis pode ser proveniente do próprio processo produtivo, tornando o resíduo matéria-prima da própria operação que a gerou.

Para o reaproveitamento de resíduos têxteis, recomenda-se, inicialmente, aplicar os procedimentos da norma ABNT NBR 10004:2004 – Classificação dos resíduos sólidos, para verificação da classificação como “perigosos” e “não perigosos”.

Segundo Allwood *et al.* (2011), o reaproveitamento de materiais não os coloca em um novo ciclo de produção, mas o reutiliza para outras finalidades e, também, contribui na gestão do lixo ao reaproveitar um material que seria descartado.

A preocupação com o meio ambiente, tanto em termos de limitação do uso de recursos finitos e a necessidade de gerenciar o descarte de resíduos, tem levado a uma crescente coação para a reciclagem de materiais (KALLA *et al.*, 2011).

Geralmente, a reutilização e a reciclagem de têxteis pode diminuir os impactos ambientais, já que pode reduzir potencialmente a produção de fibras têxteis virgens e evitar processos posteriores no ciclo de vida do produto têxtil (SANDIN; PETERS, 2018).

2.3.1 Sustentabilidade na indústria têxtil

Um dos desafios para o setor têxtil é o avanço em direção ao desenvolvimento de processos e produtos sustentáveis como forma de reduzir impactos causados à natureza, e ao modo como as empresas se posicionam frente ao meio ambiente e à sociedade. As organizações precisam, cada vez mais, adotar práticas sustentáveis (GUPTA; KUMAR; WASAN, 2021). Reutilizar recursos é uma estratégia que as organizações deveriam levar em consideração, utilizando novas tecnologias e inovações que possam contribuir para reduzir danos pósteros ao ecossistema (DZWIGOL; TRUSHKINA; KWILINSKI, 2021).

A indústria têxtil tem buscado se adaptar sustentavelmente, com a inclusão em seus processos produtivos de matérias-primas ecológicas, entre elas o algodão orgânico, que é cultivado sem o uso de produtos químicos e pesticidas (FELGUEIRAS; AZOIA et al., 2021). E, também, a substituição do uso de produtos químicos por substâncias menos nocivas (VERMA *et al.*, 2021). Diante disso, conforme Briede (2022), a utilização de óleos vegetais em biopolímeros é uma alternativa sustentável e promissora na substituição de polímeros produzidos à base de petróleo, os quais são utilizados para a fabricação dos materiais têxteis.

Além disso, a sociedade tem buscado cada vez mais por produtos com apelo sustentável, ou seja, um consumidor mais seletivo e consciente do impacto que as suas ações podem causar para as gerações atuais e para seus descendentes (JUNG; OH; KIM, 2021). Desta maneira, os padrões de consumo mudam e passam a requisitar por marcas de vestuário que estejam alinhadas a transformar o mundo em um lugar melhor (HUYNH, 2021).

Segundo El Banna (2017), muitos produtos considerados como sustentáveis são produzidos a partir de refugos, resíduos, sucatas do lixo industrial, entre outros, o que lhes agrega valor quanto à sua classificação como ambientalmente corretos.

Esta demanda solicita alterações nos sistemas de produção e de consumo como meta para um futuro sustentável, exigindo novos produtos que não causem impacto ambiental (BERTOLA; TEUNISSEN, 2018).

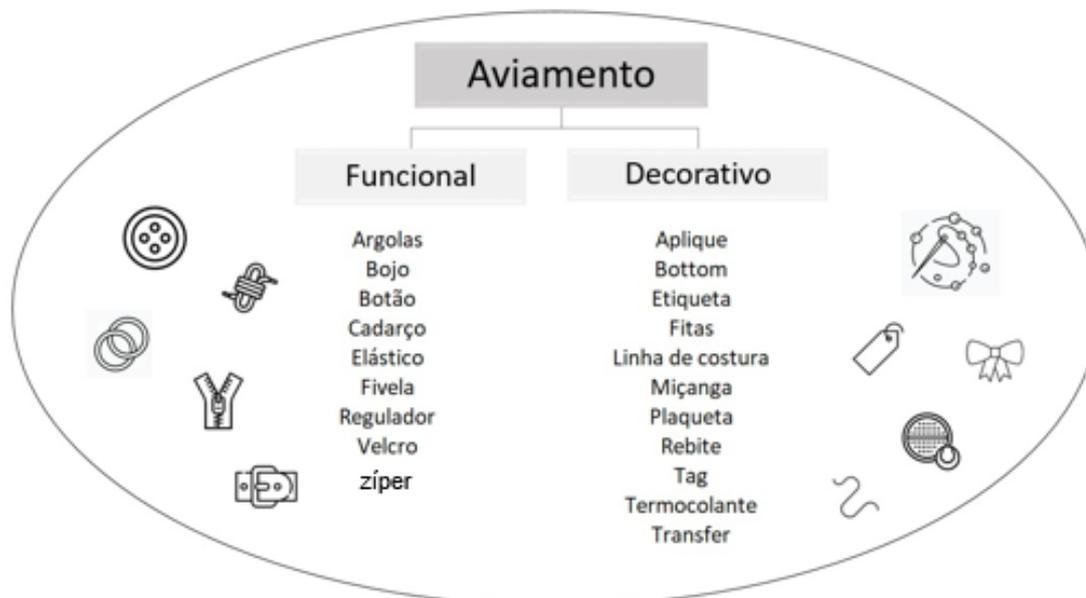
2.4 AVIAMENTOS

Os aviamentos são materiais componentes do processo de acabamento relacionado ao setor de confecção (JESUS, 2018). São classificados em dois tipos: os aviamentos decorativos, que são aqueles utilizados apenas para a decoração da peça; e os aviamentos funcionais, que têm como finalidade desempenhar uma função, ajuste e/ou um melhor caimento nas peças do vestuário.

Na concepção de uma coleção de moda, é muito significativo o uso de aviamentos, que apresentam como objetivo a finalização das peças, seu embelezamento e, dependendo da sua utilização, funcionalidade das mesmas (TREPTOW, 2009).

Além disso, podem ser também classificados de acordo com as suas características relacionadas à matéria-prima. A Figura 5 apresenta alguns aviamentos mais usados no ramo da indústria têxtil de confecção, de acordo com a sua classificação.

Figura 5 – Aviamentos no ramo da indústria têxtil



Fonte: Autora, 2023

Segundo Jesus (2018), os aviamentos também podem ser classificados de acordo com a sua visibilidade, onde se tem os aviamentos aparentes, que são aqueles que ficam visíveis na peça após a finalização da confecção, como botões, fitas, argolas, apliques, plaqueta e cadarços. E aqueles não aparentes, os quais não são

visíveis no lado exterior da peça, mas sim no seu interior, exercendo uma determinada função, como sustentação (bojo), fixação (velcro), ajuste (elástico), especificação (etiquetas) e união de peças (zíper).

2.4.1 Botão

Botão é um material funcional e decorativo usado no vestuário, que tem o objetivo de ajustar as roupas e unir as partes que as compõem, a fim de fechá-las, aplicado normalmente em camisas, blusas e calças. Há indícios de que em tempos remotos, 3.000 A.C, eles já existiam no Vale do Indo, localizado no Sul da Ásia. Também foram encontrados na Roma e na Grécia antiga (HESSE, RAYNER,2007).

Segundo Edwards (2011), os botões eram sinônimos de riqueza e status e, ao longo de séculos, passaram de um enfeite para um item usual. Foi na Idade Média que foi revolucionado o caseado, o qual permite que o botão passe pela abertura para que fique fixo na peça. Na revolução industrial o botão foi considerado como um item indispensável no vestuário.

2.4.2 Processo de produção de botões

O processo de produção de botão de massa, ou seja, composto de resina, se inicia no desenvolvimento, onde é definido se o botão será colorido, por exemplo. Se sim, é realizada a introdução de corante no processo; se não, é preparada a mistura somente entre a resina e o iniciador. Em caso específico para botões produzidos a partir de resina instaurada, que se refere a produtos obtidos pela reação de álcoois dihidrícos ou polihídricos e ácidos dibásicos ou polibásicos, é também adicionado o monômero, um agente reticulante para a cura do material. Em seguida, os insumos são introduzidos em um equipamento, chamado de tambor, que opera por aproximadamente 2 horas (dependendo da matéria-prima e espessura desejada do botão).

Ao finalizar o processo no tambor, a chapa é retirada e colocada em uma superfície plana. Com o propósito de evitar a formação de pó durante o corte do botão, farináceos são introduzidos. O tamanho do botão é definido na etapa de corte, onde se tem um molde do formato selecionado. Após isso, ocorre o processo de cura, onde os botões são dispostos em um recipiente com água em uma temperatura de 60° C.

Na etapa de acabamento é determinada a quantidade de furos e detalhes do botão, sendo que essa operação é realizada no equipamento chamado de funilagem. Se o material apresentar algum desenho específico, o botão é disposto na máquina a laser, que fará a gravura desejada; se não, é enviado para a etapa de acabamento de textura, que consiste em dar uma aparência fosca ou brilhosa ao mesmo.

Por seguinte, se foi inserido pigmento no início do processo, o material já está pronto para ser embalado. Caso não tenha sido introduzido corante na mistura da receita, é realizado o tingimento, no qual é produzido através de banho de cozimento. A coloração do tingimento é definida de acordo com as variáveis de tempo e temperatura do banho.

Um botão simples, colorido (com pigmento), normalmente apresenta 13 etapas de processo. Um botão que apresente desenhos na sua superfície passa por 15 etapas de processo de produção. A Figura 6 ilustra o fluxograma do processo para a produção de botões.

Além do botão de massa, botões também podem ser constituídos de metal ou de matéria-prima natural. O botão de massa é chamado assim por ser produzido a partir de resinas de poliuretano ou de poliéster cristal. No botão de metal tem-se o alumínio, latão e ferro em sua composição; para o botão a partir de fontes naturais utilizam-se materiais provenientes da natureza, como a madeira e a casca de coco.

Além da matéria-prima, outro fator determinante para a manufatura do botão é o seu tamanho, o qual apresenta um padrão mundial. A Figura 7 ilustra os tamanhos padronizados que são utilizados para a produção dos botões, tanto em polegada como em milímetros.

Figura 6 – Fluxograma de processo da manufatura de botão

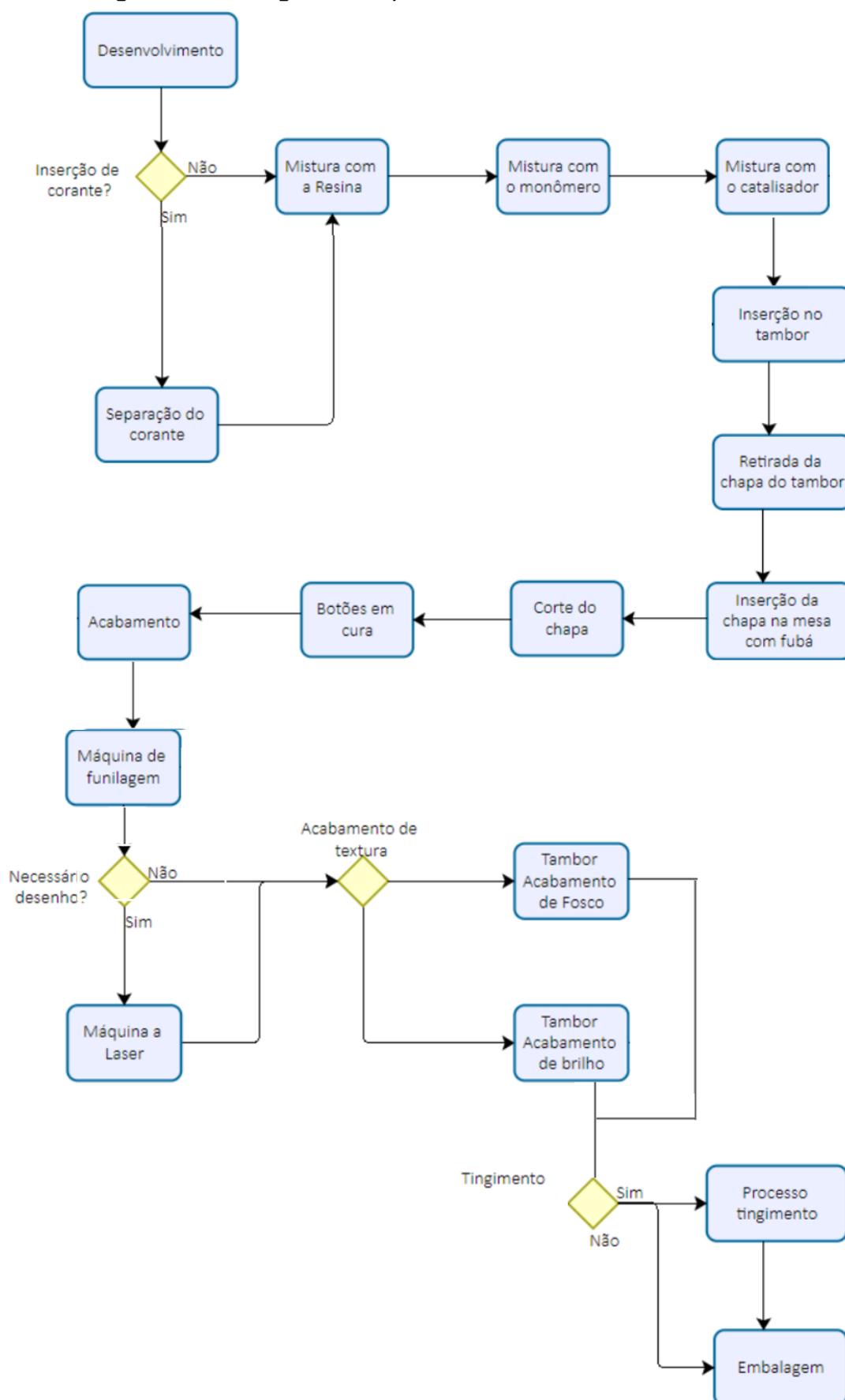
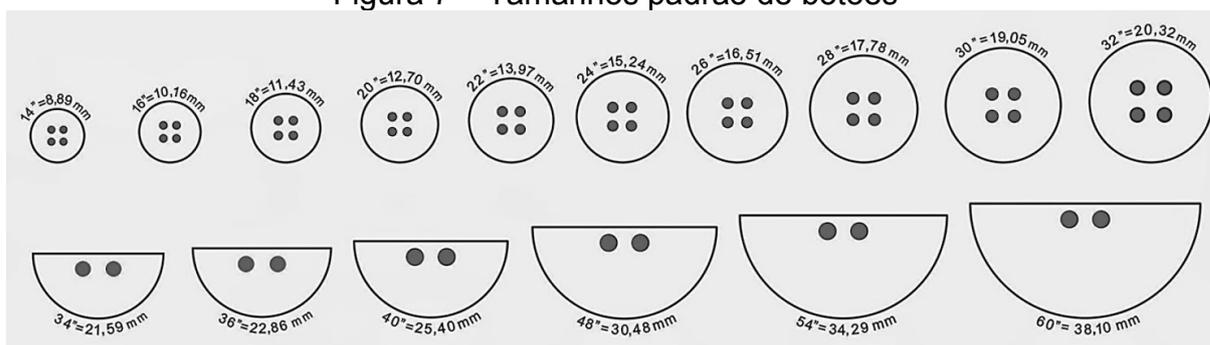


Figura 7 – Tamanhos padrão de botões



Fonte: Botões, 2022.

Apesar do botão ser catalogado como um atributo principalmente funcional, o aspecto visual é importante para a sua utilização, uma vez que os aviamentos também são utilizados como uma estratégia que acompanha as tendências de moda (MCEACHERN; MIDDLETON; CASSIDY, 2020). Ademais, outro aspecto considerável que garante o uso do material é em relação a sua dureza, resistência ao impacto, resistência à compressão, resistência à tração, que contribuem para a certificação do material (ASUNCION, 2021).

2.4.3 Tipos de botões

Os botões apresentam cinco aspectos diferentes, conforme a sua funcionalidade e *design* escolhido para a sua utilização no vestuário. O Quadro 1 apresenta a relação entre a matéria-prima e os tipos de botões que podem ser usados.

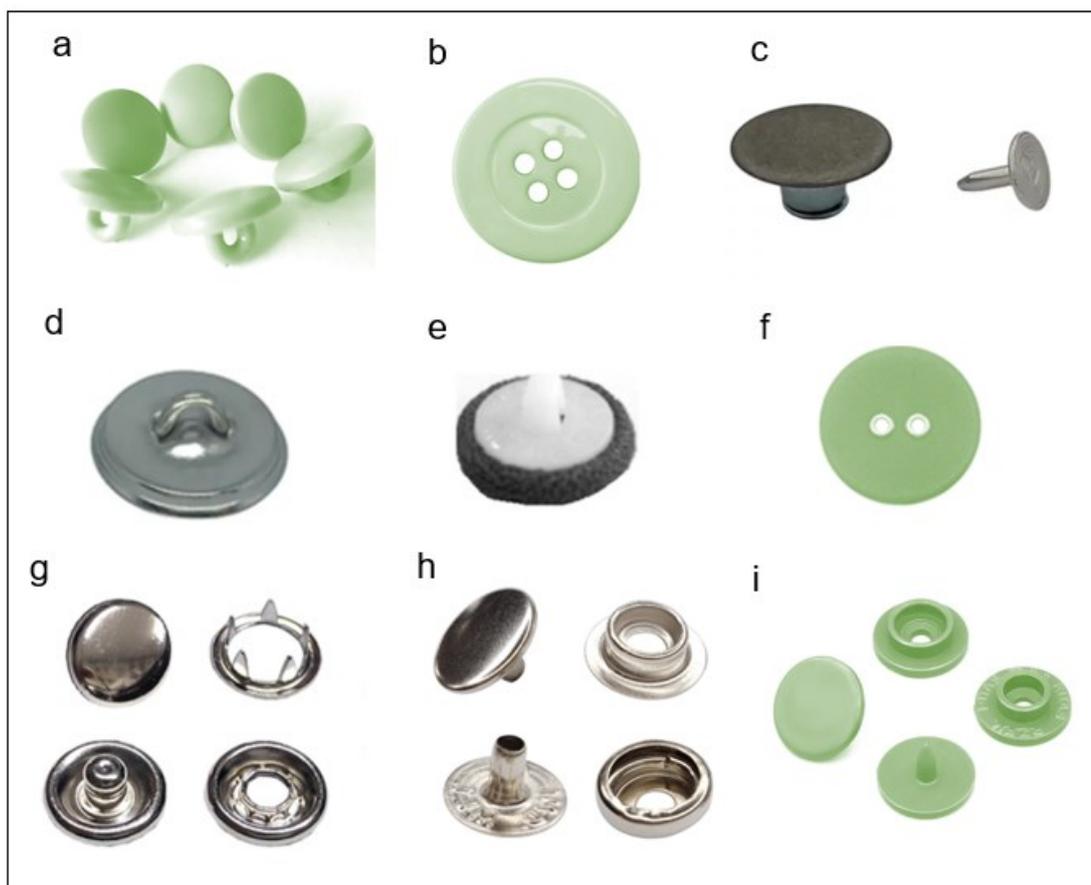
Quadro 1 – Tipos de botões de acordo com a matéria-prima

Tipo do Botão	Com pé	Com furo	Forrado	Pressão fixo	Pressão flexível
Massa	x	x	x	x	
Metal	x	x		x	x
Natural	x	x			
Reciclável	x	x			

Fonte: Autora, 2023

Além disso, os botões podem apresentar formato redondo, quadrado, oval e até mesmo personalizado. A Figura 8 apresenta os tipos de botões existentes, tais como botão com pé, botão com furo, botão forrado, botão de pressão fixo e botão de pressão flexível.

Figura 8 – Tipos de botões: com pé (a); com 4 furos (b); pressão flexível (c); botão forrado com pé (d, e); forrado com 4 furos (f); pressão fixo (g, h, i).



Fonte: Autora, 2023

O botão com pé, também conhecido como botão de pezinho, possui esse nome em virtude da sua estrutura, conforme ilustra a Figura 8 (a).

Conforme a Figura 8 (b), o botão com furo pode-se ser tanto de massa, natural, reciclado ou a partir de metal. Isto ocorre devido as suas diversas aplicabilidades, como em camisas, calças, vestidos, bolsas, entre outros. Esse tipo de botão pode ter de 2 a 4 furos.

O botão de pressão flexível tem uma estrutura alongada e é composto por um pino, o que permite a sua movimentação ao ser colocado no caseado. Esse tipo de botão é utilizado somente em peças de vestuário de sarja e jeans, devido o tecido desse material ser mais rígido. A Figura 8 (c) ilustra o botão de pressão flexível.

O botão forrado é composto de duas partes, sendo uma base de alumínio, de pé, ou com 2 furos e a outra parte forrada com tecido ou malha (PROCHOWNIK, 2022). A Figura 8 apresenta os três tipos de botão que podem ser forrados: (d) base de alumínio, (e) com pé de resina de poliéster e (f) com 2 furos.

O botão de pressão é utilizado em peças de vestuário que requerem resistência do aviamento, ou seja, suporta cargas sem deformar ou se romper. Em botões com matéria-prima de metal, o botão de pressão consiste em 4 partes, sendo: cabeça, pino, fêmea e macho. No entanto, há diferenciação quando usado em malha e tecido plano, onde, em malha, a parte do pino possui pequenas garras (Figura 8-g). Já em vestuário tipo sarja e jeans, as partes para pregar o botão possuem formas arredondadas (Figura 8-h).

Botões com matéria-prima de massa (com resina) são usados em peças de tecido plano e de malha. A Figura 8 (i) apresenta o botão de pressão de matéria-prima de massa.

2.5 MATERIAIS COMPÓSITOS

Os materiais compósitos podem ser definidos como misturas (ao nível macroscópico) não solúveis de dois ou mais constituintes com distintas composições, estruturas e propriedades (PAULA, 2011). Segundo Alsubari *et al.*, (2021), os compósitos são formados pela união de materiais, com propriedades diferentes, de modo a produzir um material único com propriedades distintas às dos componentes isolados. É uma combinação de materiais complexos que possibilita uma gama de expectativas e resultados, ou seja, dependendo da matéria-prima e quantidade usada, podem resultar em diferentes propriedades do material (LIMA; NORONHA; SANTOS, 2018).

De acordo com Kuppusamy *et al.* (2020), os compósitos são formados por uma fase contínua, chamada de matriz e por uma ou mais fases descontínuas, dispersas, chamada de reforço, sendo que as propriedades do compósito dependem da natureza e das propriedades dos seus constituintes.

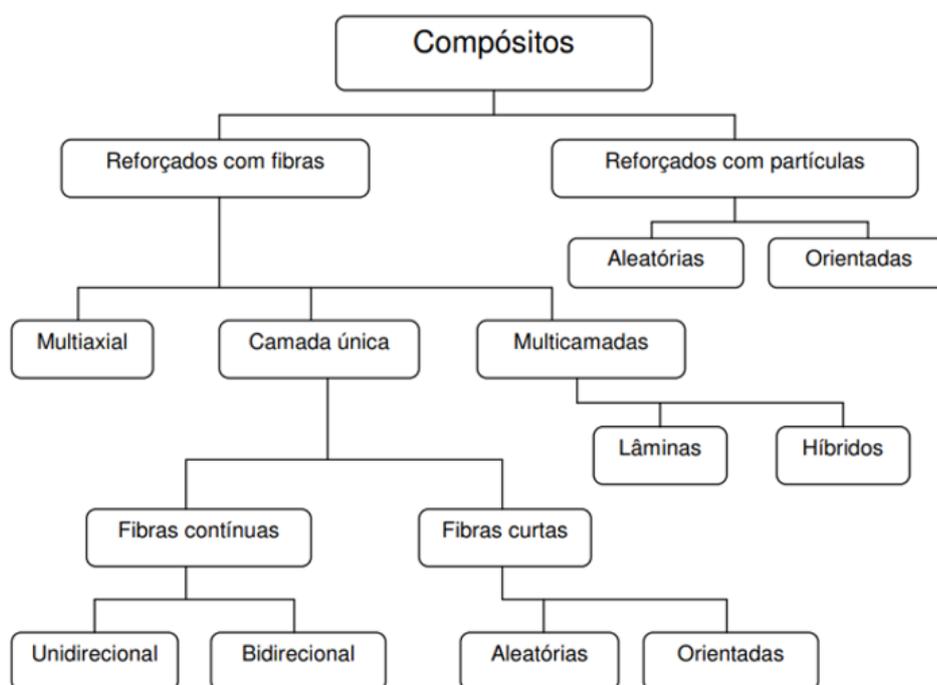
A escolha da matriz depende das propriedades exigidas para a sua aplicação, bem como o processo de manufatura escolhido e do custo associado. Segundo Callister (2007), a matriz tem como função manter a integridade estrutural do compósito por meio da ligação com a fase dispersa devido as suas características coesivas e adesivas.

Em compósitos poliméricos, a fase descontínua é conhecida também como fase dispersa (JOSE *et al.*, 2012). Em reforço, sob o nome geral de carga, designa-se qualquer substância inerte que, adicionada ao polímero de base, permite modificar

apreciavelmente as propriedades mecânicas, elétricas ou térmicas, melhorar o aspecto da superfície ou então, simplesmente, reduzir o preço da transformação do material (HSISSOU *et al.*, 2021).

Nos compósitos poliméricos existem inúmeras possibilidades de combinações que podem ser realizadas utilizando diversos tipos de resina, assim como os filmes compósitos, por exemplo, e uma grande variedade de substratos como reforço (MOHANTY *et al.*, 2018). A Figura 9 apresenta a classificação hierárquica de compósitos, de acordo com o tipo e arranjo do reforço utilizado.

Figura 9 – Classificação dos substratos fibrosos utilizados em compósitos

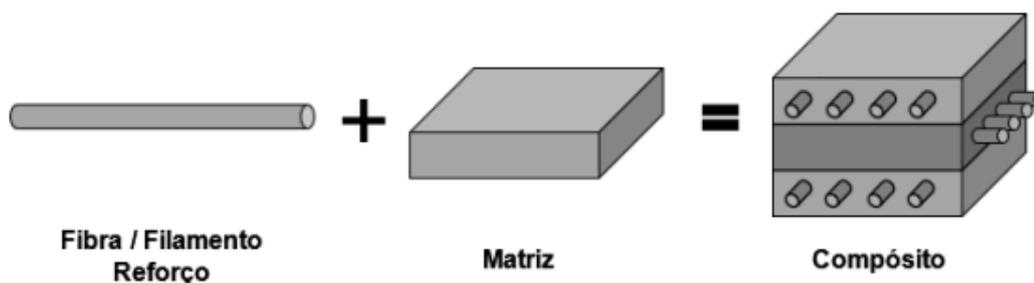


Fonte: CALLISTER (2007)

Para Callister (2007), a maior parte dos compósitos é desenvolvida visando a melhoria das propriedades de rigidez, melhorar a biodegradabilidade, entre outros, sendo por vez combinada com outras propriedades, como resistência às condições ambientes e a elevadas temperaturas.

A Figura 10 ilustra compósitos poliméricos utilizando substrato fibroso no formato fibra/filamento como reforço. Ainda, é possível utilizar outros substratos têxteis, como malhas, tecidos e não-tecidos para o seu desenvolvimento.

Figura 10 – Compósito reforçado com substrato fibroso



Fonte: Adaptado de ERDEN e HO (2017)

A qualidade dos compósitos é determinada por vários parâmetros, incluindo comprimento da fibra, teor de fibra, tratamento da fibra e dispersão da fibra na matriz, o que irá proporcionar uma boa adesão entre a fibra e a matriz (ADENIYI *et al.*, 2019). Materiais compósitos reforçados com fibras curtas e dispostas aleatoriamente oferecem resistência em quase todas as direções do material (HALL; JAVANBAKHT, 2021).

2.5.1 RESINAS

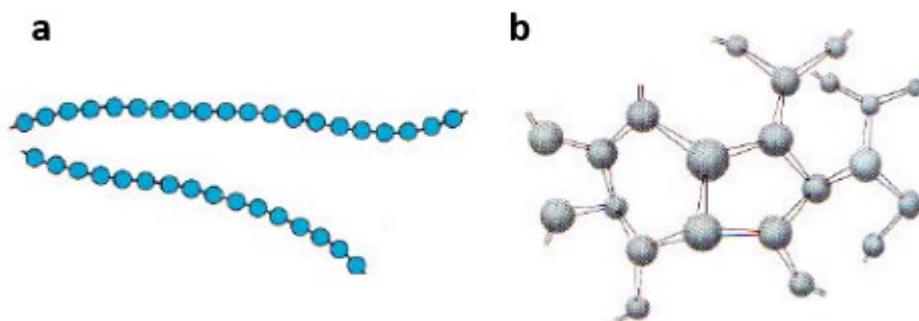
De acordo com Castro (2003), a resina é um material que pode amolecer e fluir, e que ainda pode ser moldado, onde a reação de polimerização pode ser iniciada devido à presença de iniciadores, luz ou calor, formando um material polimérico. Quando há reação de polimerização com iniciadores, ocorrem ligações cruzadas entre os componentes, e o material resultante apresenta-se rígido e com boa resistência mecânica.

As resinas fazem parte da fase do compósito conhecida como matriz, consistindo em uma fase contínua responsável pela transmissão de tensão entre os reforços do material (GOUD, ALAGIRUSAMY DAS, 2022). Tendo como reforço diversos tipos de fibras, tais como vidro, aramida e carbono (PERVAIZ, 2021). As matrizes poliméricas podem ser de dois tipos: termorrígidas ou termoplásticas.

Os termoplásticos, quando aquecidos, ficam moles e se fundem, e quando resfriados endurecem. Isto ocorre porque à medida que ocorre o aquecimento as forças de ligação secundárias diminuem por causa do aumento da movimentação molecular, facilitando a movimentação relativa de cadeias adjacentes. Caso a temperatura seja aumentada até que as vibrações moleculares sejam maiores o suficiente para romper as ligações covalentes, ocorrerá uma degradação irreversível.

São produzidos normalmente pela aplicação simultânea de calor e pressão. Outra característica dos termoplásticos é que são relativamente dúcteis. Polímeros que possuem estruturas lineares, em sua maioria com algumas ramificadas de cadeias flexíveis são termoplásticos (SOLOMONS, 1996). A Figura 11 (b) apresenta a estrutura da matriz de poliéster termoplástica e termorrígida.

Figura 11 – Estrutura da matriz: (a) termoplástica, (b) termorrígida



Fonte: Adaptado de Coelho, 2017

Já os polímeros termofixos ou termorrígidos são materiais que não se amolecem com o aquecimento, ao contrário dos termoplásticos, que em determinadas temperaturas se decompõe antes da fusão (SAMENI, 2022). E quando endurecidos, não amolecem com temperatura, já que são formadas ligações cruzadas covalentes entre as cadeias moleculares adjacentes durante o tratamento térmico inicial, prendendo as cadeias entre si para resistir aos movimentos vibracionais e rotacionais em temperaturas elevadas. Apenas quando submetido a temperaturas relativamente elevadas irá ocorrer o rompimento destas ligações cruzadas e conseqüentemente a degradação. São geralmente mais rígidos e mais frágeis quando comparados aos termoplásticos, possuindo melhor estabilidade dimensional (COELHO, 2017).

A Figura 11 (b) apresenta a estrutura da matriz de poliéster cuja polimerização de reticulação leva a uma estrutura tridimensional. O mecanismo de cura processa-se através de combinações químicas com os agentes envolvidos, pela ação de catalisadores ou oxigênio do ar (CWIEKA *et al.*, 2021), sendo considerado um fenômeno exotérmico, o qual é caracterizado pela queda da viscosidade, devido ao aumento da temperatura interna da formulação. Após isso, inicia-se o aumento do seu peso molecular, ou seja, inicia-se a reticulação, provocando um aumento na viscosidade (COSTA; REZENDE; PARDINNI, 1999). A reticulação do poliéster ocorre

entre as moléculas do monômero, geralmente o estireno, e da resina de poliéster insaturado.

De acordo com Liu *et al.* (2021), dependendo da aplicação, as resinas termofixas são as mais utilizadas em compósitos, pois apresentam excelente resistência à solventes. Segundo Downysz; Samsonowicz e Kukfisz (2022), as resinas termofixas são muito utilizadas em diversas aplicações, devido às suas elevadas propriedades mecânicas, resistência química em altas temperaturas e estabilidade dimensional. Sanchez (2010) também complementa as vantagens de baixo custo e facilidade de moldagem de peças com variadas dimensões.

De acordo com Chard *et al.* (2019), as resinas termofixas fornecem a maioria das matrizes para compósitos poliméricos reforçados com substratos fibrosos. As diferenças entre as resinas estão associadas com grupos específicos ligados à cadeia principal, os quais podem variar e estão diretamente relacionados com a propriedade final do produto (ZHOU *et al.*, 2021). No grupo das resinas termofixas se enquadram as fenólicas, epóxis e poliésteres (XUE *et al.*, 2020).

2.5.1.1 Resina de Poliéster

Conforme Utekar *et al.* (2021), a resina de poliéster é considerada como um dos polímeros termorrígidos mais versáteis e utilizados para o desenvolvimento de compósitos poliméricos, devido as suas propriedades e aplicações. Isso se dá em função das boas condições de reatividade, ao bom desempenho mecânico e ao custo mais acessível que a resina epóxi ou éster-vinílica. A diversidade de formulações disponíveis para atender os requisitos exigidos em diferentes áreas de aplicações dos compósitos também contribui para a sua usabilidade (MARINUCCI, 2011).

O poliéster saturado é um polímero termoplástico que possui apenas ligações simples ao longo de sua cadeia, como o tereftalato de polietileno (PET) (GUPTA; KUMAR, 1987). Os poliésteres saturados são definidos como poliésteres cujos componentes não contêm ligações duplas polimerizáveis, ao contrário do que ocorre com resinas alquídicas e poliésteres insaturados. Os poliésteres saturados são sintetizados pela condensação de monômeros bifuncionais ou polifuncionais contendo grupos hidroxila ou carboxílico. O processo de policondensação ocorre a temperaturas de 150–260°C (KUNAVAR *et al.*, 2010).

Já para o poliéster insaturado, os tipos de resina mais utilizados são a resina ortoftálica, preparada a partir do ácido ftálico, sendo a mais comum e mais utilizada na produção de compósitos por transferência de resina ou por compressão devido ao seu baixo custo. A resina isoftálica, preparada a partir do ácido isoftálico, apresenta propriedades mecânicas, químicas e térmicas superiores aos da resina ortoftálica. Resinas do tipo poliéster insaturado são preparadas a partir da policondensação do anidrido maleico e propilenoglicol (PACI *et al.*, 1982). A Tabela 1 apresenta algumas propriedades físicas e mecânicas da resina poliéster ortoftálica

Tabela 1 – Propriedades do poliéster ortoftálico

Propriedades	Valores
Densidade	1,3 - 2 (g/cm ³)
Módulo de Elasticidade	3,102 - 10,6 (Gpa)
Resistência a Tração	33,5 - 70 (Mpa)
Alongamento	0,5 - 5 %
Resistência á Flexão	76 - 120 (Mpa)
Módulo á Flexão	> 2,06 (Gpa)
Absorção de água	1 %

Fonte: JANNAH, et al. (2009)

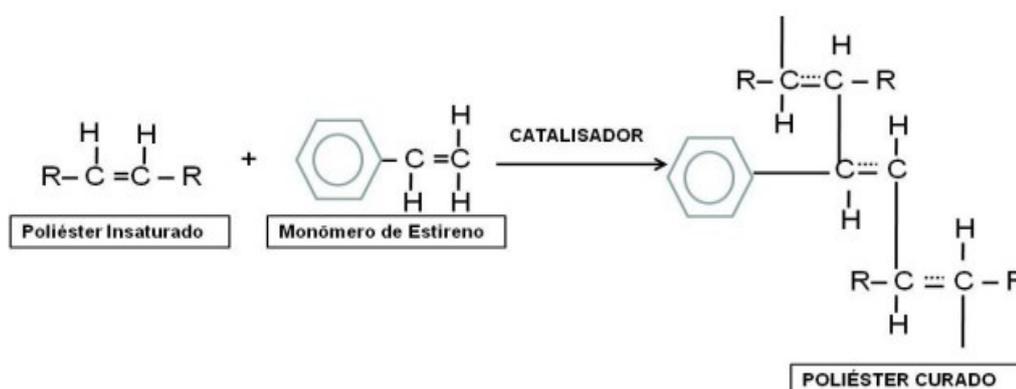
Os poliésteres insaturados apresentam várias insaturações ao longo da cadeia, um monômero reticulado possui inibidores que previnem que a reticulação ocorra antes da resina ser processada (JANKOVIC, 2010; RAQUEZ *et al.*, 2010). Para Dotan (2014), os poliésteres também são obtidos pela policondensação de um glicol saturado com um diácido não saturado, que são dissolvidos num monômero do tipo vinílico, como o estireno, capaz de copolimerizar com o poliéster.

De acordo com Holfmann *et al.* (2022), o poliéster insaturado difere-se do saturado pelo fato de que as matérias-primas utilizadas para o poliéster insaturado possuem ligações duplas (C=C), e que durante o processo de reticulação, também chamado de cura, formam uma estrutura reticulada com o monômero resultando em um polímero termorrígido.

Conforme Braga (2010), os poliésteres insaturados também podem ser formados em duas etapas: condensação do ácido e do álcool para formar uma resina solúvel, e adição de um agente de interligação, para formar uma resina termoestável. A Figura 12 apresenta a reação do poliéster insaturado com o monômero de estireno na obtenção da resina poliéster termorrígida.

Com a adição do monômero, normalmente o estireno, que é considerado o monômero insaturado mais utilizado por motivos técnicos e econômicos, reduz-se o tempo de copolimerização, e permite que a resina alcance resistência mecânica rapidamente. A adição do monômero de estireno tem como vantagem a facilidade na manipulação do material líquido (HUANG *et al.*, 2022), e tem a finalidade de melhorar a dissolução do polímero de poliéster. Essa dissolução ocorre durante a reação de esterificação e, no momento da cura da resina. O monômero serve de copolímero de reação com os pontos de insaturação presentes na cadeia do poliéster, formando as ligações cruzadas (TRITW, DEEPALI, 2022). A Figura 12 ilustra a reação para obtenção da resina de poliéster denominada de termorrígida.

Figura 12 – Reação para obtenção da resina de poliéster termorrígida



Fonte: Smith (1998)

Segundo Melouki (2022), as resinas de poliéster insaturado normalmente são fornecidas em forma de um líquido viscoso, ou seja, o monômero possui ligações duplas que são desfeitas por ação de catalisadores e, após isso, formam radicais livres altamente energizados que fornecem calor à mistura. Esse calor favorece a agitação das moléculas, acelerando o processo de cura.

A reação de síntese da resina de poliéster é uma reação de polimerização por condensação em etapas, ou seja, a reação de um álcool (base orgânica) com um ácido, resultando em uma reação de esterificação, formando um éster e água. O grupo funcional [-COO-] é o grupo éster. A reação é reversível e, na prática, o equilíbrio é deslocado na direção da esterificação, com eliminação de água do meio reacional. Se a reação se processar com um diálcool e um diácido, a resultante contará com diversos grupos éster, dando origem a um poliéster (LEVY NETO, 2016).

Para iniciar a reticulação, uma fonte de radicais livres, como por exemplo, o peróxido de metiletil cetona, é adicionado. A reação de reticulação é uma copolimerização via radicais livres entre o oligômero de resina e o monômero insaturado. O monômero, além de ser o agente reticulante, tem outro papel importante na preparação do polímero, que é o de reduzir a viscosidade para que a resina possa ser processada e moldada (AHMAD; RODRIGUE, 2022).

Durante a cura da resina ocorre evaporação de uma porcentagem de estireno, o que justifica o uso de um ligeiro excesso molar do monômero para garantir a cura adequada da resina (GUO *et al.*, 2006). O excesso de estireno faz com que a resina fique quebradiça e sensível ao calor, ficando amarelada e com rachaduras superficiais quando exposta por certo período ao sol. (SEASE, 1994). Recomenda-se a adição de estireno para baixar a viscosidade entre 10-15 % (LA SCALA, 2004).

O resultado da reticulação do processo de cura no ciclo catalítico é uma estrutura tridimensional, onde a resina líquida se transforma num sólido quimicamente estável e infusível (KNOP; PILATO, 2013).

A cinética de cura de resinas de poliéster é muito complexa, já que os processos reativos ocorrem simultaneamente, incluindo a decomposição química de um iniciador, liberando radicais livres que podem reagir com o inibidor, estireno, ou com o poliéster. A partir deste momento, as cadeias de polímeros crescem e se cruzam, de acordo com três possíveis processos reativos: copolimerização de estireno-poliéster, homopolimerização de estireno e homopolimerização de poliéster. Na última fase, ocorrem múltiplos processos reativos, e todos os radicais livres no meio reacional podem se recombinar, abrangendo o crescimento das cadeias. Se a temperatura de cura for elevada, pode haver decomposição térmica do iniciador, podendo levar a outro processo de polimerização (LU; SHIM; KIM, 1998).

2.5.2 ÓLEO DE MAMONA

A mamona (*Ricinus Communis L.*) também conhecida como óleo rícino, é uma planta de origem afro-asiática que pode ser encontrada em todo o Brasil em virtude de ser facilmente adaptável a diversas condições de solo e clima (BAPTISTA; AMARAL; RIBEIRO, 2019). A Índia é o maior produtor de mamona e produz aproximadamente 86 % da produção mundial (POKHAREL *et al.*, 2022).

O óleo de mamona é composto por cerca de 90 % de um único ácido graxo, o ácido ricinoleico (ácido 12-hidroxi-cis-9-octadecenóico), que contém uma hidroxila que o faz solúvel em álcool a baixa temperatura e é muito viscoso (DHANUSKAR; NAIK; PANT, 2021). Os 10 % restantes da sua composição são atribuídos a outros ácidos, como oléicos e linoleicos (GALVÁN *et al.*, 2022) A estrutura do ácido ricinoleico possui 18 átomos de carbono e difere dos outros ácidos graxos por apresentar uma hidroxila no carbono-12 de sua cadeia, e por apresentar uma dupla ligação cis entre os carbonos 9 e 10 (DHANUSKAR, 2021).

Segundo NAIK *et al.* (2018) e VINAYAKA *et al.* (2017), o óleo pode ser extraído por meio de solvente, prensagem mecânica ou uma combinação de ambos e, dependendo das variedades, as sementes de mamona contêm entre 45 e 55 % em massa de óleo. A Figura 13 ilustra a planta do qual é extraída da semente de mamoneira.

Figura 13 – Semente de mamoneira



Fonte: DHANUSKAR; NAIK; PANT (2021)

De acordo AHMAD *et al.* (2020), a presença de ligação éster, grupos hidroxila e carboxila do óleo de rícino auxilia na sua versatilidade de aplicação. Essas características estruturais e funcionais fazem de seu triglicerídeo um poliálcool natural trifuncional, concedendo tanto ao óleo de mamona algumas de suas propriedades intrínsecas e, também ativam a molécula tornando-a acessível a muitas reações químicas (AMORIN, 2021).

Por essa razão, a utilização do óleo de mamona para síntese de poliuretanos torna-se mais notável quando comparada aos outros óleos, pelo fato de não haver a necessidade de hidroxilação da dupla ligação (XU *et al.*, 2008).

Conforme Marinho *et al.* (2013), o óleo de mamona possui propriedades únicas por ser proveniente de uma fonte natural e renovável que pode substituir o uso de materiais sintéticos, como o poliéster na fabricação de materiais.

O óleo de mamona é usado em diversas aplicações industriais, como a utilização em uso medicinal, produção de biodiesel, na agricultura, em próteses e outros produtos biodegradáveis, como os biolubrificantes e seus derivados. Pode ser considerado como um dos mais importantes dentre os óleos vegetais (CHAUKE; MMUKAYA; NNIKAZI, 2019).

Além disso, de acordo com Dhanuskar *et al.* (2021), o óleo de mamona está entre os óleos vegetais mais procurados, principalmente devido às suas ricas propriedades, como a ação de agentes anti-inflamatória, não liberação de substâncias tóxicas e apresentar boa relação custo-benefício (ESCOBAR *et al.*, 2009).

2.5.2.1 Resina poliuretano a base de mamona

A resina de poliuretano a base de mamona apresenta propriedades superiores quando comparada com outras resinas (AYDOGMUS *et al.*, 2022). Dentre esses aspectos, pode ser elencada a facilidade de obtenção da mamona para a geração da resina, possibilidade de manuseio em temperatura ambiente, resistência considerável a raios ultravioletas e da ação da água (DIAS; LAHR, 2004).

A partir do óleo de mamona é possível sintetizar polióis com diferentes características. A mistura à base de mamona, a frio, ocasiona uma reação de polimerização dando origem à formação da resina de poliuretano, podendo-se variar a relação de quantidade para obter uma maior ou menor flexibilidade, e empregar o catalisador adequado, com objetivo de aumentar a velocidade de reação do bicomponente (GARZÓN *et al.*, 2013).

Os polímeros de base biológica oferecem uma série de vantagens, dentre elas o fato de se decompor naturalmente, ou seja, microrganismos quebram e metabolizam as ligações químicas presentes na estrutura desses polímeros, tornando-os um material biodegradável (KONCAR, 2018). Em contraste, materiais à base de petróleo

como polietileno, polietileno, entre outros, têm efeitos prejudiciais ao meio ambiente por não se decomporem na natureza.

Como afirmam PARASKAR *et al.* (2021), os poliuretanos preparados a partir de óleos vegetais apresentam excelentes propriedades, devido à natureza hidrofóbica dos triglicerídeos. Isso leva a uma estrutura uniforme no poliuretano, o que normalmente resulta em boas propriedades mecânicas e, por serem de fonte renovável, concebe uma excelente alternativa para o desenvolvimento de biocompósitos (PFISTER; XIA; LAROCJ, 2011). Segundo Zuliani (2022), os biocompósitos são completamente atóxicos por não apresentar materiais voláteis e metais pesados em sua composição e por não precisar de solventes para aplicação.

Além disso, KAUR *et al.* (2021) citam que o poliuretano derivado do óleo extraído das sementes da mamona, quando utilizado no desenvolvimento de compósitos, possui boas propriedades, como a excelente resistência química, resistência ao impacto e à abrasão.

2.5.3 Biocompósitos

Os biocompósitos consistem em um polímero biodegradável na fase matriz, e geralmente biofibra ou materiais de origem natural como elemento de reforço (REIS; MOTTA, 2014).

O desenvolvimento de biocompósitos contribui para a redução dos impactos ambientais causados pelo intenso consumo de materiais sintéticos obtidos a partir de fontes fósseis e também, contribui para a redução do acúmulo de resíduos naturais (SHANMUGAM, 2021).

Os biocompósitos produzidos a partir de biopolímeros e fibras naturais são muito atraentes devido à sua capacidade de fornecer as funções necessárias a um preço mais atrativo (Satyanarayana; Arizaga, 2009). São biodegradáveis e recicláveis. Podem ser descartados sem esforço depois de cumprirem sua finalidade, sem afetar negativamente o meio ambiente. Isso não é viável no caso de compósitos sintéticos derivados de recursos de combustíveis fósseis (POKHAREL *et al.*, 2022). De acordo com a pesquisa de previsão de mercado de biocompósitos, a indústria crescerá de US\$ 24,4 bilhões em 2021 para US\$ 51,2 bilhões até 2026 (MARKET, 2022). Compósitos plásticos estão sendo efetivamente substituídos por biocompósitos (DRZAL; MOHANTY, MISRA, 2001).

Os compósitos a partir de recursos renováveis vêm ganhando muito destaque, devido à sua natureza biodegradável. Produtos biodegradáveis estão se tornando cada vez mais atraentes, também, devido à elevação dos preços e escassez de petróleo bruto (MOSHOOO *et al.*, 2021). Os resíduos naturais a partir de celulose, fibras, partículas (em nano e microescala), são substitutos atraentes para serem utilizados como reforço e, uma alternativa para o aproveitamento dos sobejos (GUANCHA *et al.*, 2020).

Segundo Altalhi *et al.* (2022), a manufatura de materiais biocompósitos tem sido de grande interesse dos pesquisadores. Biopolímeros de poliuretano derivado de óleo de mamona podem servir de matrizes para compósitos reforçados com fibras vegetais o que o tornaria o biocompósito 100 % biodegradável. Pesquisas vêm sendo realizadas no intuito de utilizar matérias-primas renováveis na produção de poliuretanos, como óleos vegetais, evitando-se assim o consumo de derivados do petróleo (MENEZES, 2018).

De acordo com Wollerdorfer (1998), exemplos de biopolímeros são os policaprolactona (PCL), poli(ácido láctico) (PLA), polihidroxialcanoatos, poli(etileno glicol) (PEG) e poliésteres alifáticos, como poli(butileno succinato) e poli(butileno succinato

Apesar das vantagens, os biopolímeros de mamona apresentam algumas desvantagens, como instabilidade térmica, inflamabilidade e baixo volume de produção, o que pode aumentar os custos de processamento (BECK *et al.*, 2019). Além disso, para Marques (2019), o óleo de mamona apresenta duas principais desvantagens, tais como o baixo número de hidroxilas e a baixa taxa de cura devido à presença de hidroxilas secundárias.

2.5.4 COMPÓSITO DE MATRIZ POLIMÉRICA A PARTIR DE SUBSTRATOS TÊXTEIS

As propriedades mecânicas do reforço fibroso em compósitos poliméricos dependem, principalmente, de três fatores: módulo de resistência de tração, estabilidade química da matriz polimérica e a efetiva interação entre a resina e a fibra para a transferência de esforços na interface (ROCHA, 2015).

Para a manufatura do compósito, é importante uma adequada adesão entre o reforço e a matriz. Fatores como a determinação do comprimento médio do substrato fibroso e a sua quantidade utilizada, são relevantes (BOEY, LEE, TAY, 2022).

Compósitos reforçados com fibras de algodão têm ganhado importância. Kamble (2020) afirma que estes compósitos, dependendo do tipo de matriz, apresentam apelo sustentável, pois o algodão é um componente biodegradável. Já Mohanavel *et al.* (2021) complementa que o algodão também apresenta boas propriedades físicas quando aplicado em compósitos.

Conforme Jiang *et al.* (2022) existem diversos parâmetros que influenciam as propriedades mecânicas de matrizes poliméricas reforçadas com fibras curtas, como: a dispersão, orientação e o comprimento das fibras, a fração volumétrica dos componentes da mistura e as propriedades elásticas do material na sua fase reforço e matriz (MORTAZAVIAN; FATEMI, 2015). De acordo com a investigação de Lokesh (2020), a resistência do material compósito aumenta com a elevação do teor de fibra, entretanto, até um ponto de saturação.

A crescente procura por materiais ecologicamente corretos, nos últimos anos, tem possibilitado o desenvolvimento de materiais a partir de matrizes poliméricas com resíduos naturais (FORMELA; KURAŃSKA; BARCZEWSKI, 2022). A utilização destes resíduos em compósitos vem crescendo no setor industrial devido à baixa densidade, à boa adesão a matriz e aos baixos custos destas matérias-primas, oriundas de fontes renováveis e inesgotáveis (CHAUHAN; KÄRKI; VARIS, 2022).

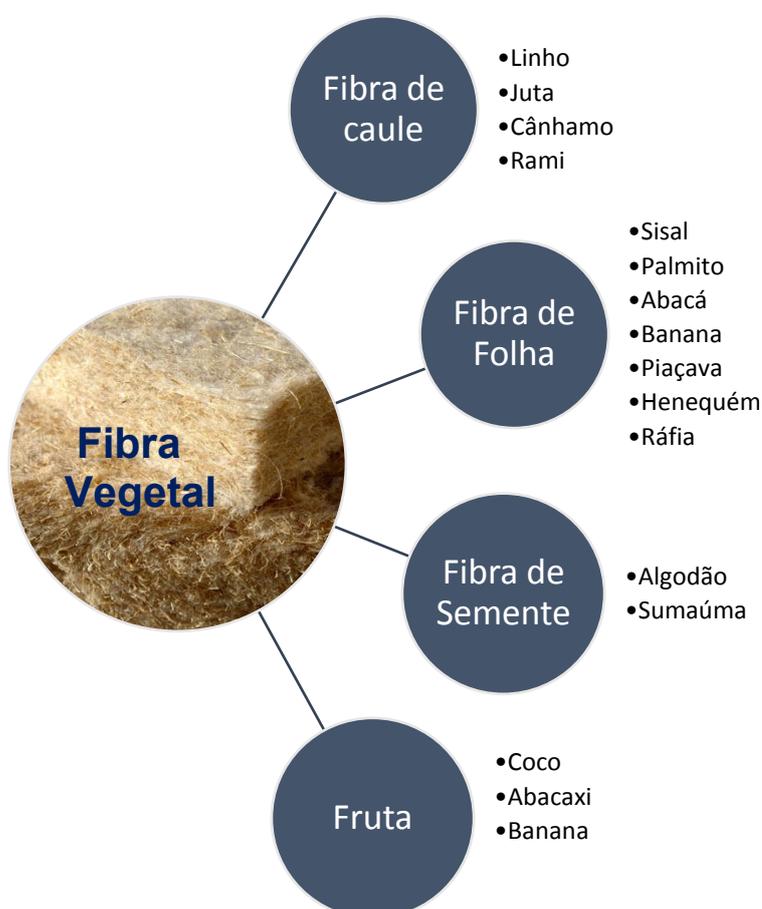
2.6 FIBRA TÊXTIL

Os materiais têxteis são compostos por fibras, que são classificadas como naturais e químicas (estas últimas divididas em artificiais e sintéticas). De acordo com Bacarin (2015), a fibra têxtil é constituída de macromoléculas lineares e apresenta elevada relação entre seu comprimento e diâmetro. Além disso, para aplicação em vestuário, deve apresentar características de suavidade, flexibilidade e conforto.

As fibras naturais podem ser de origem animal (obtida da secreção de alguns insetos ou oriunda de pelos de animais); mineral (rochas e silicato); e vegetais (SAHEB, JOG, 2015). Dentre as fibras naturais mais usadas tem-se o algodão, seda, lã e o linho (SHARMA *et al.*, 2022). Por serem fonte de recurso natural renovável, as fibras naturais são biodegradáveis, recicláveis, não tóxicas e podem ser incineradas.

As fibras naturais são compostas por células alongadas, o que permite algumas propriedades e características, como densidade e tensão (SATHISHKUMAR *et al.*, 2013). As fibras vegetais podem ser classificadas de acordo com a sua origem: caule (linho, juta, cânhamo e rami); proveniente de folhas (sisal, palmito, abacá, banana, piaçava, henequém e ráfia); fibras de semente (algodão e sumaúma); fibras de fruta (coco, abacaxi e banana) (LIU; LV, 2022). A Figura 14 apresenta a classificação das fibras vegetais de acordo com a sua origem.

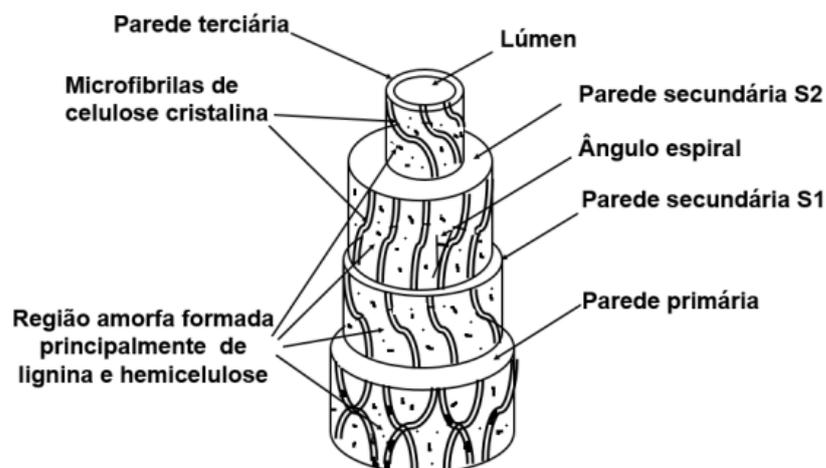
Figura 14 – Classificação de fibras vegetais



Fonte: Adaptado de LIU e LV (2022)

As fibras vegetais cruas são basicamente constituídas de lignina, celulose e hemicelulose, além de pequenas quantidades de sais inorgânicos, pectina, corantes naturais e substâncias nitrogenadas que são incluídas no que se denomina de fração de solúveis (SOLIMAN, 2021). A Figura 15 ilustra a constituição de uma fibra vegetal.

Figura 15 – Fibra vegetal



Fonte: Adaptado de RONG, et al., 2001

A celulose é o componente principal das fibras vegetais, responsável por sua resistência mecânica (AKINYEMI; ADESINA, 2021). Trata-se de um polissacarídeo macromolecular composto de glicose, que consiste em um polímero de cadeia linear formado pela ligação de inúmeros anidridos de D-glicopiranosose com β (1-4) glicosídeos, sendo a estrutura regular e não ramificada. A celulose possui muitos grupos hidroxila na cadeia molecular, que promovem a formação de ligações de hidrogênio intramoleculares e intermoleculares (LIU; LV, 2022).

O componente celulósico é composto por regiões cristalinas e amorfas, em que a zona cristalina está aparentemente relacionada ao núcleo da microfibrila, enquanto a zona amorfa está associada ao exterior da microfibrila (LIU; LV, 2022). Além da celulose, grande parte das fibras vegetais possuem componentes de hemicelulose e lignina que também influenciam nas propriedades e características das fibras (KARIMAH *et al.*, 2021).

Fibras naturais têm sido usadas como materiais de reforço por mais de 3000 anos, em combinação com materiais poliméricos (RANGAPPA *et al.*, 2021). As fibras naturais são de natureza hidrofílica, ou seja, atraem moléculas de água, o que resulta a interação entre a fibra e a matriz polimérica, o que reduz as características mecânicas dos compósitos (FARUK *et al.*, 2012).

A presença de ceras nas superfícies das fibras dificulta uma boa ligação entre a fibra e a matriz. Essas desvantagens, que incluem hidrofobicidade, má ligação e instabilidade térmica, podem ser superadas submetendo as fibras a tratamentos

físicos e químicos (POKHAREL *et al.*, 2022). Dessa maneira, há vantagem de utilizar um resíduo têxtil de algodão tratado, ou seja, desprovido de ceras e pectinas que causam a hidrofobicidade.

De acordo com Merlini (2011), as fibras vegetais apresentam algumas vantagens em relação às fibras sintéticas, tais como, não são tóxicas, são biodegradáveis, de fonte abundante e de rápida renovação. Porém, existem desvantagens que podem influenciar sua aplicação, como a qualidade variável em função do tempo e local de cultivo; baixa resistência à umidade, que causa inchamento das fibras; temperatura de processamento máxima limitada; reduzida durabilidade; pouca resistência ao fogo; e variação do preço em função do desempenho da colheita e políticas agrícolas (AZWA *et al.*, 2013).

As fibras de algodão não possuem lignina (já que é fibra de semente) e, é composta por composta por cerca de 89 % de celulose (KARIMAH *et al.*, 2021). Já as fibras com lignina possuem menos celulose, como as fibras de cânhamo, curauá, juta, abacaxi, rami e linho (entre 70 e 85 %), enquanto as fibras de bambu, bagaço e coco apresentam os menores teores de celulose (entre 20 a 45 %) (CAMARGO, *et al.*, 2020).

2.6.1 Algodão

O algodão é considerado a fibra natural mais usada, devido às suas características e propriedades, tais como suavidade, conforto proporcionado, maciez, propriedade hipoalergênica, caráter hidrofílico e biodegradabilidade (SAHA *et al.*, 2021).

De acordo com Zaman *et al.* (2020), após beneficiada, a fibra de algodão é composta de aproximadamente 99,9 % de celulose de longas cadeias de moléculas unidas por grupos hidroxilas (OH⁻). Estas cadeias estão dispostas paralelamente nas fibras formando uma espiral e conferindo resistência à tração e estabilidade dimensional (JOHN, ANANDJIWALA 2008).

Dados de 2019 informam que anualmente são cultivados cerca de 35 milhões de hectares de algodão distribuídos por 60 países, presente nos cinco continentes. A indústria brasileira de algodão movimentou em torno de US\$ 12 bilhões e emprega mais de 350 mil de pessoas em sua produção, envolvendo a logística, descaroçamento, processamento e embalagem (ABRAPA, 2022).

Segundo a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), em 2019, o Brasil teve um crescimento de cerca 40 % na área cultivada de algodão, resultando em uma produção de 1,61 milhões de toneladas, o que representou um aumento de 36 % em relação à safra anterior (CONAB, 2022). Na safra de 2020/2021 a produção foi de 2.815,40 mil toneladas (ABRAPA, 2022).

O algodão cru, por ser um material orgânico, quando descartado no meio ambiente, não traz impactos e leva cerca de três meses para se decompor completamente. Isso ocorre porque essa fibra apresenta propriedades químicas e físicas que favorecem a ação de microorganismos para a sua biodegradação, possivelmente devido à sua elevada hidrofiliabilidade (ISLAM *et al.*, 2021). A fibra de algodão também apresenta boa viabilidade econômica, garantida pela sua elevada produção e baixo custo (WANG; MEMON, 2020).

Durante a produção na indústria têxtil, os artigos de algodão são submetidos ao processo de beneficiamento, que tem como finalidade melhorar as características intrínsecas do material (PINHO; SOARES; 2018). O beneficiamento pode ser dividido em três etapas. O beneficiamento primário consiste nas operações necessárias para preparar o substrato têxtil para o tingimento, onde há operações físicas, químicas, bioquímicas e físico-químicas (VIGO, 2013). Na operação química é realizada a purga, que tem como objetivo eliminar as impurezas contidas nas fibras de algodão, como as ceras, óleos e as pectinas naturais, por meio de reações de saponificação e emulsão (RYMOWICZ; KOPEC; STEVENS, 2004).

O beneficiamento secundário refere-se aos processos de tingimento e estamparia; e o terciário refere-se à aplicação de acabamentos especiais, como aplicações ultravioleta, isolamento térmico, impermeabilidade entre outros (STANKEVICIUS, 2021).

No processo físico-químico é realizada a mercerização, que consiste em um processo químico que tem o objetivo de proporcionar maior resistência do tecido, maior afinidade por corantes e conferir mais brilho. Neste processo uma solução de hidróxido de sódio (soda cáustica) é aplicada, sob tensão, nos fios e tecidos de algodão (VIGO, 2013), proporcionando um intumescimento da fibra, deixando-a com um perfil mais arredondado e diminuindo as zonas amorfas existentes na celulose. Este processo confere ao material celulósico um brilho acentuado, maior afinidade por corantes, um toque mais macio, maior resistência mecânica, maior absorção e retração (ABDUL, 2022).

Os processos químicos do beneficiamento otimizam a interação entre a fibra e o polímero, durante o desenvolvimento de compósito, reduzindo os grupos OH-presentes na cutícula da fibra, elevando a rugosidade superficial e melhorando a adesão entre as fibras e a matriz (JAGADEESH, 2021).

Algumas propriedades mecânicas da fibra de algodão são importantes quando usadas como reforço em compósito, sendo elas a boa recuperação elástica e resistência à tração, recuperação da umidade, resistência à degradação pelo calor (KAMBLE; BEHERA, 2020).

2.7 ESTUDOS SOBRE COMPÓSITOS

A crescente preocupação mundial em relação ao meio ambiente e à preservação dos recursos naturais não renováveis tem atraído pesquisadores de diversas áreas que buscam desenvolver novos materiais e produtos ecologicamente corretos com base nos princípios da sustentabilidade (DING, 2021). Neste contexto, a utilização de fibras vegetais e poliuretano de mamona em compósitos poliméricos, tem-se mostrado uma boa alternativa (BARCELLOS *et al.*, 2022).

Materiais compósitos formados por fibras naturais e matrizes poliméricas constituem uma área atual de interesse no âmbito desta temática. Nota-se um grande desenvolvimento neste campo, impulsionado principalmente pelas indústrias automobilísticas (FIORELLI *et al.*, 2012). As resinas de poliuretano são atrativas pela versatilidade estrutural (como elastômeros, termoplásticos, termorrígidos), bem como pelo fato de poderem ser derivadas do petróleo ou de óleos vegetais. Apresentam ainda a particularidade de serem mais compatíveis com fibras vegetais em relação a outras resinas, devido a possível reação dos grupos hidroxila das fibras e dos grupos isocianato do poliuretano (SILVA *et al.*, 2006).

Ranpappa *et al.* (2022) citam que pesquisas sobre a estrutura e propriedades de fibras vegetais naturais mostram que os compósitos feitos com essas fibras combinam boas propriedades mecânicas com baixa massa específica.

Além disso, atualmente, a fibra reciclada tem aumentado a demanda das indústrias devido as suas vantagens, como baixo custo, capacidade de biodegradação e propriedades mecânicas e físicas aceitáveis (SANTHANAM *et al.*, 2019). A reciclagem também ajuda conservar os recursos naturais, reduzindo emissões de gases de efeito estufa, poluição do ar e contaminação das águas (SOJOBI, 2016).

Muitos pesquisadores estudaram materiais compósitos reforçados com diferentes materiais têxteis, como resíduos provenientes de fibras têxteis (MULLER, 2016); resíduos de fibras de algodão (KAMBLE; BEHERA, 2021); fibra de bambu (WANG; Young, 2021); casca de arroz, casca de trigo, fibras de madeira e fibras de resíduos têxteis (MUTHURAJ *et al.*, 2019); sabugo de milho e fibra de juta (ALI *et al.*, 2020). O Quadro 2 apresenta resumidamente os estudos mencionados, os quais tiveram como critérios de seleção o tipo de matriz utilizado (Poliuretano de óleo de mamona e poliéster) com diferentes reforços e também o critério de fibra de algodão.

Quadro 2 – Estudos de compósitos feitos com fibras naturais

Matriz	Reforço	Resultado do compósito	Referência
Poliuretano de óleo de mamona	Fibra de sisal	Aumento do teor de fibras nos compósitos levou a um aumento da resistência ao impacto, com valores em torno de 17,65 J/m para o compósito com 10 % de fibras de sisal. As fibras apresentaram boa adesão às matrizes poliméricas. As matrizes de PU apresentaram baixa capacidade de absorção de água.	MELO; BRENO; PASA, 2003.
Poliuretano de óleo de mamona	Fibra de curauá	As fibras apresentaram boa adesão às matrizes poliméricas. As matrizes de PU apresentaram baixa capacidade de absorção de água.	ARAÚJO <i>et al.</i> , 2022.
Poliuretano de óleo de mamona	Palha da cana-de-açúcar (5%, 10%, 15% e 20% p/p).	A decomposição térmica da matriz começa acima de 300 °C. O processo de cura não foi completo porque a presença de celulose não permitia a movimentação das moléculas. Melhorou as propriedades mecânicas. Alto índice de absorção de água pelo aumento da quantidade de fibra. Com a adição de fibra, a resistência à tração aumentou 100 % em comparação com a resina pura.	MILÉO; ROCHA, GONÇALVES, 2017.
Poliuretano de óleo de mamona	Fibra de bananeira	Ótima resistência a tração (fibras curtas e aleatórias). A fibra tratada apresentou maior resistência a tração. Maior resistência em temperatura de transição vítrea.	MERLINI; SOLDI; BARRA, 2011.

Quadro 3 – Estudos de compósitos feitos com fibras naturais
(continuação)

Matriz	Reforço	Resultado do compósito	Referência
Poliuretano de óleo de mamona	Fibra de coco	Poliuretano à base de óleo de mamona ocupa os espaços entre as partículas, o que melhora as propriedades físicas e mecânicas.	FIORELLI <i>et al.</i> , 2012.
Poliuretano de óleo de mamona	Fibra de sisal e coco	Aumento da resistência à tração com o aumento da fração volumétrica de fibras, porém, ocorreu o inverso com a resistência à flexão.	SILVA, 2003
Poliuretano de óleo de mamona	Fibras naturais	Redução da massa em até 40 % quando comparado a resina sintética e apresentou boas propriedades mecânicas.	BAJPAI; SINGH, 2013
Poliuretano de óleo de mamona	Piaçava	Na utilização de 2 % de fibra, houve diminuição da resistência a flexão, mas, melhorou a tenacidade e a rigidez à fratura.	REIS; MOTTA, 2014.
Poliuretano de óleo de mamona	Fibras de celulose	Resistência à tração melhorada Aumento do alongamento e ruptura, bem como da rugosidade e brilho.	OLIVEIRA <i>et al.</i> , 2015.
Poliuretano de óleo de mamona	Bagaço da cana-de-açúcar	Adição de lignina e fibras de celulose diminui a estabilidade térmica do compósito em comparação com a matriz pura.	MILÉO; ROCHA, GONÇALVES, 2017.
Poliuretano de óleo de mamona	Celulose	A inclusão de celulose melhora a estabilidade térmica dos materiais e sua capacidade de se dispersar nos solventes polares estudados.	OPREA; POTOLINCA, 2020.
Poliuretano de óleo de mamona	Fibra de cânhamo	O cânhamo aumentou a elasticidade e as propriedades de amortecimento.	FARIA <i>et al.</i> , 2020.
Poliuretano de óleo de mamona	Casca de arroz	O teor de umidade do compósito aumenta com o aumento da fração de reforço.	GRYCZAK, Marcelo; BERNADIN, 2021.
Poliuretano de óleo de mamona	Fibras longas de algodão	As fibras deixaram mais dúcteis que a resina epóxi, principalmente para reforço com fibras de algodão. Propriedades mecânicas inferiores aos compósitos reforçados com fibras de vidro;	COSTA; MONTICELI; MULINARI, 2020.
	PU reforçado com fibras de vidro	Compósitos de PU apresentaram comportamento frágil, mas produz compósitos mais dúcteis que a resina epóxi.	
	Epóxi reforçado com algodão	Uma melhor adesão, melhorando os valores de resistência mecânica dos materiais compósitos.	
	Epóxi reforçado com fibras de vidro	Boa adesão fibra-matriz	
Poliuretano de óleo de mamona	Fibra de Bambu	Maior resistência de impacto.	LOPES, 2011.

Quadro 4 – Estudos de compósitos feitos com fibras naturais

Matriz	Reforço	Resultado do compósito	(conclusão) Referência
Poliéster	fibra curta de mamona	Fibra com 5 mm obteve melhor desempenho tribológico do que com 10, 15 e 20 mm.	EGALA; JAGADEESH; SETTI, 2011.
Poliestireno	Resíduos de fibras de algodão	Degradação térmica iniciou em aproximadamente 200 °C. A incorporação de 20 % de fibras de algodão se torna viável.	BORSOI <i>et al.</i> , 2011.
Poliácido láctico	Fibra de algodão	Quanto maior o percentual de substrato têxtil maior a resistência à tração.	COSTA, 2016.
Poliéster	Fibras de Piaçava	Aumento na tenacidade no ensaio de impacto Charpy (menos 40 % em massa de fibra).	MONTEIRO <i>et al.</i> , 2006.
Poliéster	Resíduos de tecido de algodão (10 %, 18 %, 25 %, 33 %, 40 %)	O percentual de 33 % apresentou melhor resistência à tração, flexão e compressão. 10 % menor resistência; 40 % obteve melhor resistência ao impacto.	GEDIF; ATALIE, 2022.

Fonte: Autora, 2023

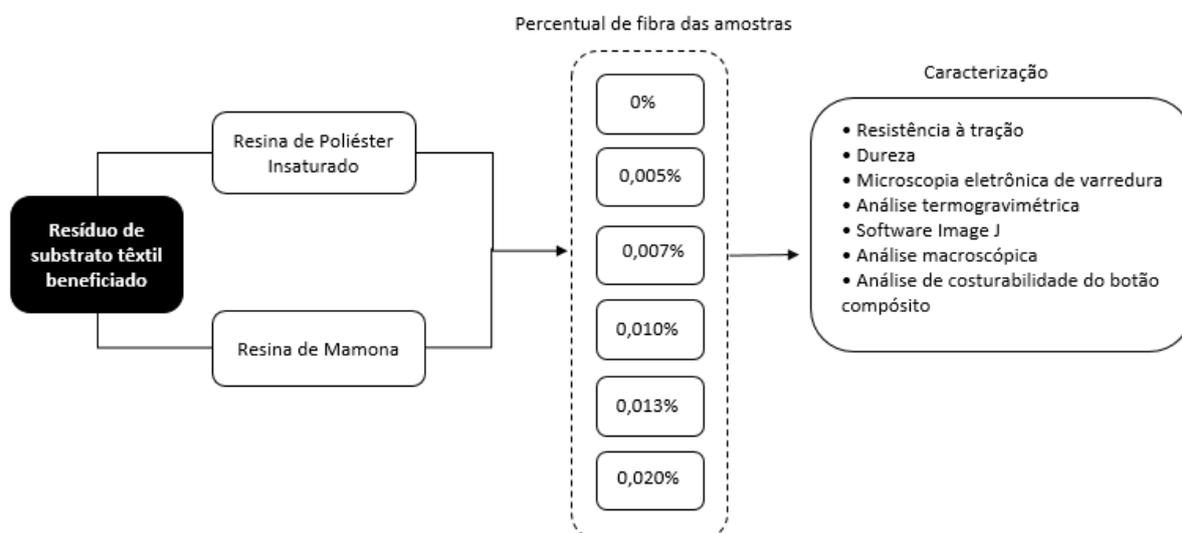
Diante da revisão bibliográfica apresentada, destaca-se a relevância sobre o estudo de compósito a partir de resina de mamona e de poliéster reforçado com substrato têxtil proveniente de resíduos do processo de felpagem. A fim de correlacionar o apelo de sustentabilidade para a manufatura de um produto de aviamentos, mais especificamente para botões. Destaca-se que não foi encontrado na literatura trabalhos que utilizem tal resíduo. Além disso, é significativo que as características do substrato têxtil sejam consideradas, sendo assim, verifica-se a importância de avaliar os aspectos morfológicos e térmicos do material. Assim, torna-se pertinente essa proposta de pesquisa para a produção de compósito de mamona com fibra curta de algodão, bem como sua comparação com a resina de poliéster para a manufatura de botões.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo estão descritos os materiais utilizados para a realização dos ensaios da manufatura do botão, bem como os métodos e procedimentos experimentais utilizados para o desenvolvimento com o propósito de atingir os objetivos propostos inicialmente.

Os corpos de provas consistiram na mistura de resíduo de algodão beneficiado de fibras curtas (aleatórias) com resina de poliéster e resina de mamona como matriz. A Figura 16 apresenta o fluxograma com as etapas do processo de caracterização do compósito proposto.

Figura 16 – Fluxograma do processo de obtenção do compósito



Fonte: Autora, 2023

3.1 MATERIAIS

3.1.1 Fibras

Para a realização dos experimentos, foram utilizadas fibras de algodão beneficiado colorido da mesma cor para os experimentos, com comprimento de aproximadamente 2 mm. Essas fibras são resíduos provenientes do processo físico de pelucamento de moletom tingido com corante reativo, conforme apresentado na Figura 17.

Figura 17 – Resíduo de fibra de algodão do processo de felpagem



Fonte: Autora, 2023

3.1.2 Resinas

Foram utilizadas a resina de poliéster cristal ALPHA 190, da empresa Embrapol e a resina de mamona RP 1315 C concedida pela empresa Imperveg. A resina cristal é o polímero utilizado na produção de botões. A Tabela 2 apresenta as propriedades da resina cristal.

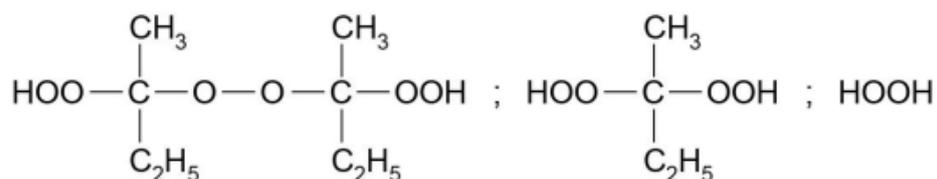
Tabela 2 – Propriedades da resina de poliéster cristal ALPHA 190

Propriedade	Valor	Unidade
Viscosidade Brookfield a 25 °C	1600-2000	(cP)
<i>Gel Time</i> a 25 °C	9-13	Min
Intervalo simples	Máximo 25	Min
Pico exotérmico	130-160	°C
Índice de acidez	Máximo 35	(mg KOH/g)
Teor de sólidos	68-75	%
Densidade a 25 °C	1,08-1,15	g/cm ³

Fonte: Adaptado de EMBRAPOL, 2022

Para iniciar a reação química da resina de poliéster, foi utilizado o catalizador BRASNOX® DM-50 da empresa *Nouryon Functiona Chemicals B.V*, que consiste em um iniciador de polimerização em resinas de poliéster insaturadas em temperatura ambiente (NOURYON, 2022). Trata-se de peróxido de metil etil cetona em dimetil ftalato (Figura 18).

Figura 18 – Peróxido de metil etil cetona em dimetil ftalato



Fonte: Polinox do Brasil, 2022

As propriedades do iniciador BRASNOX® DM-50 são apresentadas na Tabela

3.

Tabela 3 – Propriedades do BRASNOX® DM-50

Aspecto	Líquido, Límpido e Incolor
Oxigênio Ativo	8,80 – 9,00 %.
Densidade	1,14 – 1,18 g/cm ³ 25°C
Solubilidade	Solúvel em Ftalatos, cetonas, álcoois e glicóis Insolúvel em Hidrocarbonetos aromáticos clorados e alifáticos
SADT (Temperatura de decomposição em auto aceleração)	65 °C.
Temperatura de estocagem	Máximo: 30 °C.

Fonte: Adaptado de BRASIL, 2022

Para formar o polímero, durante a polimerização, foi utilizado uma solução de poliéster insaturada em monômero de estireno linha Omega 1017 da empresa Embrapol.

A resina de mamona é um impermeabilizante a base de poliuretano vegetal, originado do óleo de mamona, um bicomponente 100 % sólido (isento de solventes). A resina é fornecida em dois componentes (A + B) que devem ser misturados na proporção de 1:1,5 (uma parte do componente A + uma parte e meia do componente B, em volume, respectivamente) (IMPERVEG, 2022). A Figura 19 ilustra os dois componentes da resina de mamona fornecida.

Figura 19 – Resina de mamona (componente A + componente B)



Fonte: Autora, 2023

A Tabela 4 apresenta as características da resina de mamona.

Tabela 4 – Características da resina de mamona RP 1315 C

Parâmetro	Análise/ Valores
Consistência	Fluida
Cor após cura	cinza, verde, amarelo, vermelho, preto, etc.
Resistência ao calor	apresenta perda de massa somente após 210° C
Liberação de elementos tóxicos	isento
Tensão de ruptura à tração	15 Mpa
Resistência à compressão	28 Mpa
Alongamento de ruptura	+/- 8%

Fonte: Adaptado de IMPERVEG, 2022

3.2 MÉTODOS

Os experimentos para a manufatura dos botões a partir de resíduo têxtil foram realizados no laboratório da empresa Brasil Botões, localizada na cidade de Jaraguá do Sul. Os experimentos de caracterização do substrato fibroso foram realizados nos laboratórios dos Departamentos de Engenharia Química e de Engenharia de Materiais da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

3.2.1 Manufatura dos compósitos

Para determinar a proporção de substrato têxtil no compósito, foi realizado o planejamento experimental em mistura do tipo *lattice simplex* para análise de concentrações de acordo com o observado nos testes preliminares. Para tanto, se entende que a resposta depende apenas das proporções entre os seus componentes e não da quantidade em si. A fibra de algodão será considerada pseudo componente com o máximo de proporção mássica de 0,020% e a resina completará a proporção em 100%. Para a mistura com resina de poliéster, foi utilizado a proporção de 1 grama de iniciador, já para a mamona não foi necessário acrescentar o iniciador na mistura.

A Tabela 5 apresenta o percentual das misturas propostas.

Tabela 5 – Composição das proporções mássica de resina de PES e fibra de algodão dos corpos de prova em cada tratamento do planejamento experimental em mistura

Corpo de prova	Resina (%)	Fibra (%)
1	100	0
2	99,995	0,005
3	99,993	0,007
4	99,990	0,010
5	99,987	0,013
6	99,985	0,015
7	99,980	0,020

Fonte: Autora, 2023

Todos os ensaios foram realizados em triplicata.

O planejamento em mistura proposto foi utilizado nas amostras de mamona e de poliéster, o que permite a obtenção de um modelo estatístico preditivo quadrático otimizando a composição frente às respostas obtidas nas análises de caracterização do produto final, de acordo com a Equação 1.

$$\hat{y} = b_0 + b_1 * x_1 + b_2 * x_2 + b_{11} * x_1^2 + b_{22} * x_2^2 + b_{12} * x_1 * x_2 \quad (1)$$

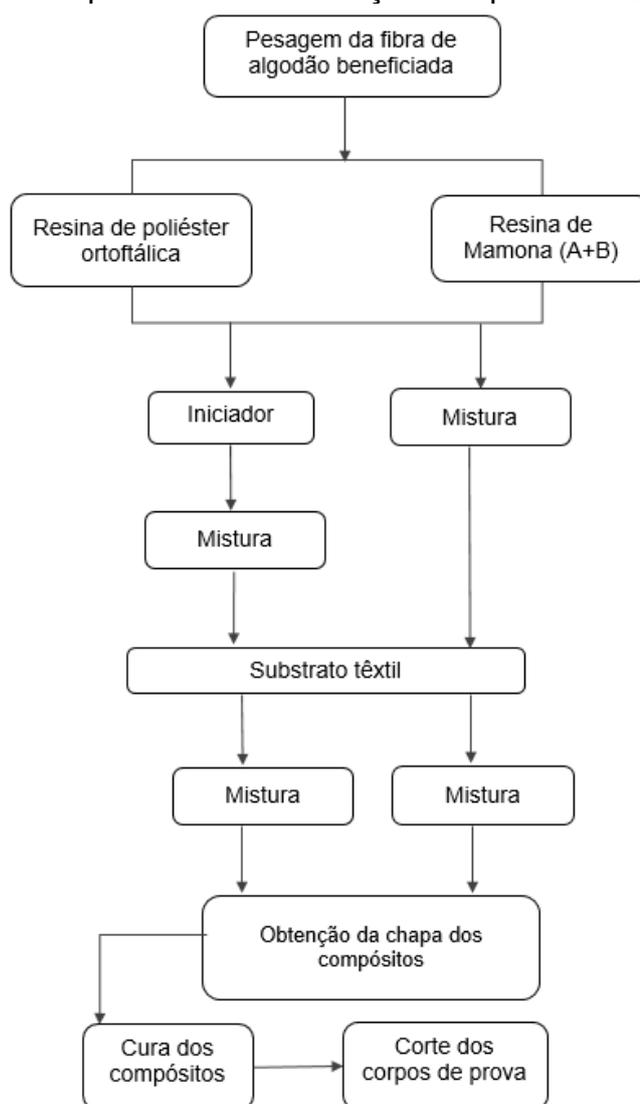
Onde, x_1 e x_2 são variáveis independentes e b_0 , b_1 , b_2 etc. são os parâmetros da regressão.

3.2.2 Processo de manufatura dos compósitos

O processo de fabricação dos compósitos poliméricos foi realizado por meio da mistura dos materiais pelo método *hand lay-up*. Para os ensaios, foram produzidos compósitos com a resina de poliéster cristal e de resina de mamona para avaliação do comportamento de diferentes concentrações de fibras nas resinas supracitadas. Para o caso da resina de poliéster a formulação consiste em 1 mL de iniciador na mistura (0,01 gramas), variando-se a concentração de fibras de algodão nos corpos de prova.

A Figura 20 apresenta as etapas do processo de fabricação das placas dos compósitos para produção dos corpos de prova para ensaios de caracterização.

Figura 20 – Etapas do processo de fabricação das placas dos compósitos



Fonte: Autora, 2023

Diante disso, as etapas do processo de manufatura dos compósitos foram:

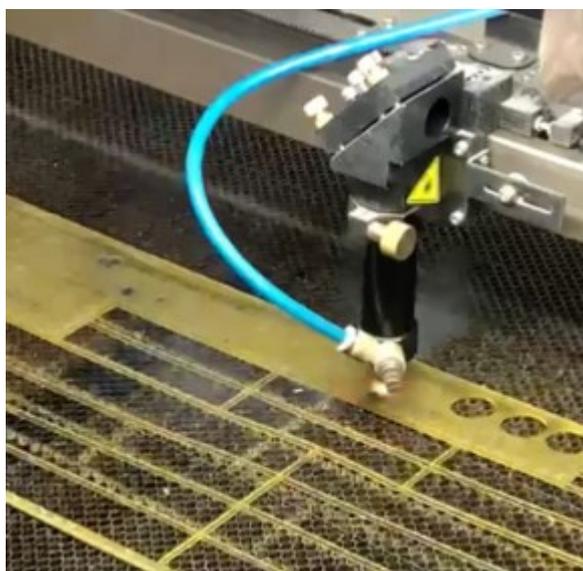
- As fibras de algodão beneficiada foram pesadas e reservadas;
- Para o compósito com resina de poliéster ortoftálica foi adicionado o iniciador e feito a mistura de ambos por 40 segundos e, após a adição das fibras foi misturado manualmente por mais 30 segundos. Já para a resina de mamona, foram misturados dois componentes na proporção de 1:1,5 (uma parte do componente A + uma parte e meia do componente B) conforme a especificação de proporcionalidade do fabricante, considerando o tempo de mistura de 3 minutos;
- Para garantir a homogeneização e também seguir o processo de como é produzido o botão (produto), a mistura entre os componentes introduzida no cilindro que é utilizado pela empresa parceira para a produção de botões. A Figura 21 (a) apresenta a máquina cilíndrica e a (b) a mistura introduzida dentro da máquina.

Figura 21 – (a) Máquina cilíndrica; (b) chapa do compósito na máquina



O tempo de preparação da resina de poliéster foi de 1 minuto e meio e para a resina de mamona foi de 3 minutos e meio. Dentro do cilindro, os tempos de rotação foram de 20 minutos para resina de poliéster e de 2 horas para a resina de mamona (por conta do seu tempo de cura). Quanto a cura do compósito foi de 2 horas para resina de poliéster e 15 dias para resina de mamona. Após a cura, o procedimento de corte dos corpos de prova foi realizado por meio de corte a laser (Figura 22).

Figura 22 – Corte dos corpos de prova à laser



Fonte: Autora, 2023

3.2.3 Ensaio de resistência à tração

O ensaio de tração consiste na aplicação de uma força de tração axial num corpo de prova padronizado, promovendo a deformação do material na direção do esforço, que tende a alongá-lo até fraturar (SUZUKI *et al.*, 2013).

Os ensaios foram realizados conforme as recomendações da norma técnica ASTM D3039, no Laboratório de Ensaios Mecânicos (LEM) da UFSC, Campus Blumenau, utilizando a máquina de ensaio Universal Instron modelo EMIC 23-100. De acordo com a norma técnica ASTM D3039, para os ensaios mecânicos de tração foram cortados um mínimo de cinco corpos com dimensões de 250 mm X 25 mm X 3 mm para cada percentual de reforço, totalizando 70 amostras.

Para os compósitos de poliéster a taxa de velocidade no equipamento foi de 2 mm/min e para os compósitos de mamona foi de 10 mm/min até que ocorresse a ruptura do material. Essa diferença de velocidade deu-se pelo fato da resina de mamona requer um tempo maior até a sua ruptura. Como resposta, para cada corpo de prova, foi obtida a força de ruptura. A Figura 23 o equipamento utilizado nos ensaios.

Figura 23 – Equipamento universal para ensaios de resistência à tração.



Fonte: Autora, 2023

3.2.4 Ensaio de dureza

O ensaio de dureza identifica a resistência do material à penetração ou ao risco e avalia a resistência relativa à deformação, a qual varia com o tempo (ANDENA, CHAIROT, 2022).

Conforme as recomendações da norma técnica ABNT NBR 7456 (ABNT, 1982), as dimensões dos corpos de prova foram de 10 mm X 10 mm X 3 mm, sendo um para resina pura de poliéster e mamona e para as misturas com substrato têxtil, totalizando 14 amostras para cada análise. O ensaio de dureza *Shore* foi realizado no Laboratório de Caracterização de Materiais da UFSC, do Campus de Blumenau, pelo equipamento NT-6510D, utilizando o durômetro portátil e escala Shore D com penetrador cônico (Figura 24).

Figura 24 – Durômetro utilizado para realizar os ensaios de dureza.



Fonte: Autora, 2023

3.2.5 Análise estatística

Os dados experimentais foram analisados estatisticamente com a finalidade de se encontrar o melhor modelo ajustado para as duas variáveis independentes. As análises estatísticas para a tração e dureza para a mistura algodão/poliéster e algodão/poliuretano de mamona foram realizadas por meio da análise de variância (ANOVA) com 5 % de significância, com auxílio do *software Statistica* 13.0 (licenciado pela UFSC). Para os dois polímeros a análise iniciou verificando qual o melhor modelo se ajustava. Foram testados os modelos linear e quadrático. Para selecionar o modelo que melhor representa as misturas estudadas levou-se em consideração o coeficiente de ajuste (R^2) e a análise de variância do ajuste, cujo resultado é dado pelo “*lack of fit*” (falta de ajuste). O modelo representará o sistema quando a falta de ajuste não for significativa ($p\text{-value} > 0,05$). De posse da análise de variância, foram determinados os coeficientes do modelo preditivo.

3.2.6 Análise termogravimétrica

A análise termogravimétrica (TGA) é usada para caracterizar as propriedades físicas e químicas dos materiais, que fornece informações da variação da massa de uma amostra em função da temperatura ou do tempo em um ambiente de temperatura e atmosfera controlada (PRIME *et al.*, 2009). Essa análise é amplamente utilizada

para investigar a temperatura de decomposição de polímeros, como o poliéster, e para determinar os parâmetros cinéticos de decomposição térmica (ZOHDY, 2005), ou seja, é utilizada para ter uma melhor compreensão da estabilidade térmica dos materiais.

Os ensaios de TGA foram realizados no Laboratório de Análises Térmicas e Espectroscopia (LTE) da UFSC, Campus Blumenau, com equipamento modelo STA 449 F3 Jupiter, da marca Netzsch. Todos os ensaios foram realizados obedecendo aos seguintes parâmetros:

- Taxa de aquecimento: 10 °C/min
- Atmosfera: Nitrogênio
- Vazão de gás: 60 mL/min
- Tempo de inertização: 30 min
- Rampa de aquecimento: 20 a 650 °C
- Cadinho: Alumina
- Massa de amostra: 9 mg +/- 1 mg.

3.2.7 Análise macroscópica

Na análise macroscópica, as amostras dos compósitos foram fotografadas por meio de fotografia digital e, posteriormente foi avaliado a uniformidade e cor dos compósitos, bem como se apresentaram aspecto visual venusto.

3.2.8 Software *Image J*

O *software* Image J realiza uma análise quantitativa das imagens de microestruturas no que se refere a medidas relativas a tamanho, diâmetro, entre outros (CHEIN *et al.*, 2022). A partir da análise das imagens pretende-se verificar a homogeneidade das amostras, a fim de obter um diagnóstico menos subjetivo que as obtidas somente com observação visual.

3.2.9 Microscopia eletrônica de varredura

A microscopia eletrônica de varredura (MEV) é utilizada como uma ferramenta que permite correlacionar às propriedades físico-químicas com a estrutura morfológica, sendo possível visualizar a superfície do material (MOHAMMED,

ABDULLAH, 2018). No caso do compósito de resina polimérica com substrato têxtil, analisar a interface entre a fibra e o polímero.

A análise morfológica das amostras foi realizada no Laboratório Central de Microscopia Eletrônica (LCME) da UFSC, no Campus Florianópolis, utilizando-se um microscópio eletrônico de varredura da marca JEOL (modelo JSM-6390LV) com magnitudes de ampliação de zoom de 100 e 25 x recobertas com ouro.

3.3 PRODUTO

A aplicabilidade para o compósito proposto é a fabricação de botões para a utilização no vestuário.

3.3.1 Etapa de manufatura do botão

A Figura 25 apresenta as etapas realizadas para a manufatura do botão.



A manufatura dos botões ocorre conforme descrito na seção 3.2.2. Após a finalização das chapas produzidas, as mesmas são retiradas para o corte, seguem para a cura e depois inicia-se o processo de acabamento do botão.

3.3.2 Corte da chapa para botão de poliéster

Para a moldagem, a chapa obtida no cilindro rotativo foi colocada sobre uma superfície plana. Para que não ocorra a formação de pó durante o processo de corte das chapas recém-formadas, são adicionados farináceos, que irá conter a poeira. A Figura 26 demonstra a placa do compósito antes de ser cortada.

Figura 26 – Chapa do compósito



Fonte: Autora, 2023.

Após a permanência de 3 minutos da placa sobre a farinha de milho, é realizado o corte da chapa para dar o formato de botões.

3.3.3 Corte da chapa no formato de botão

O processo de corte ocorre quando a chapa é inserida no equipamento de acordo com o molde pré-definido, que irá determinar o tamanho do botão (Figura 27).

Figura 27 – Corte da chapa do botão (a) Chapa e (b) botões cortados

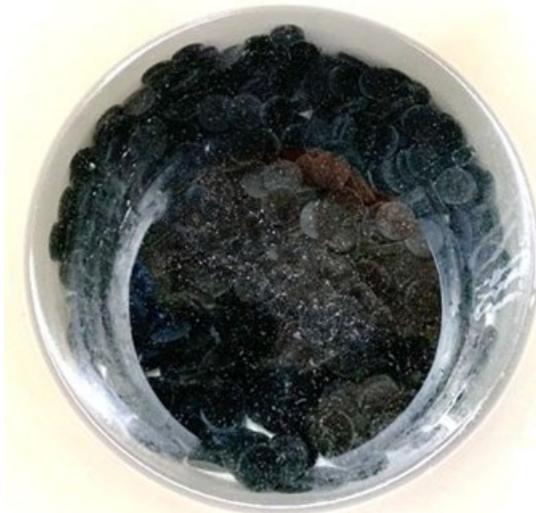


Fonte: Autora, 2022.

3.3.4 Cura dos botões

Após o corte dos botões, as amostras permaneceram totalmente submersas em um recipiente com água em temperatura de 60 °C durante o período de 24 horas para o botão de poliéster, como demonstra a Figura 28.

Figura 28 – Botões de PES submersos em água para o processo de cura



Fonte: Autora, 2023

Manter os botões submersos em água é fundamental para o processo de cura dos botões, pois, em função da reação exotérmica deve-se haver um controle da temperatura. Isto é, a temperatura da água influencia na qualidade do botão. Se a cura for em temperatura ambiente haverá problema de tonalidade de cor nos botões com corante, comprometendo a dureza requerida, o que ocasiona na quebra do aviamento ao ser costurado em uma peça de vestuário. Se a temperatura da água for superior a 60 °C, o tempo de cura será menor, ocasionado no amarelamento do material, comprometendo em sua característica visual.

3.3.5 Acabamento

Nos processos que englobam o acabamento são realizados os detalhes que compõem o aspecto visual dos botões.

Para o botão de poliéster, o primeiro processo de acabamento é na máquina de funilagem, onde é realizado o furo de cada botão individualmente e o lixamento da borda.

Se o botão tiver desenhos ou algum tipo de escrita, é realizado o acabamento na máquina a laser. Caso não haja desenho no material, os botões são enviados diretamente para o acabamento chamado de textura, que é realizado em uma máquina cilíndrica à tambor, onde são inseridas pedras que darão uma aparência brilhosa ou fosca ao material, conforme desejado.

Outra etapa do processo de acabamento é o tingimento, onde os botões são introduzidos em um recipiente que contenha água quente e corante. De maneira manual ambos são misturados até se obter a tonalidade previamente definida.

3.3.6 Análise de costurabilidade do botão

A análise de costurabilidade demonstra como a costura se comporta em determinado artigo têxtil, sem que a agulha seja danificada, podendo ser costurado em elevada velocidade sem aquecer excessivamente a agulha (ARAÚJO, 1996). Para verificar a fragilidade do compósito ao ser costurado, principalmente no local dos furos do botão, o ensaio será realizado em uma empresa da região com uma máquina automática de pregar botões Jack Motor Direct Drive JK-1377EB. A norma utilizada será a NBR 13483.

Foi utilizado uma programação que já é usada comercialmente pela empresa para o tipo do botão 10139 (referência da empresa de botões). Foi colocado os botões no gancho da máquina e pregados automaticamente por 2 segundos. Para cada composição de fibra foi pregado 6, totalizando 36 botões para resina de poliéster e 36 botões para resina de mamona.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo estão apresentados os resultados obtidos de acordo com os objetivos propostos desta dissertação. São apresentados a manufatura do compósito e, dados quantitativos sobre o desempenho do compósito de matriz ortoftálica de poliéster e da resina de mamona com reforço/carga de fibra de algodão beneficiado. O material foi caracterizado quanto as suas propriedades mecânicas, térmicas e morfológicas.

4.1 Caracterização do compósito

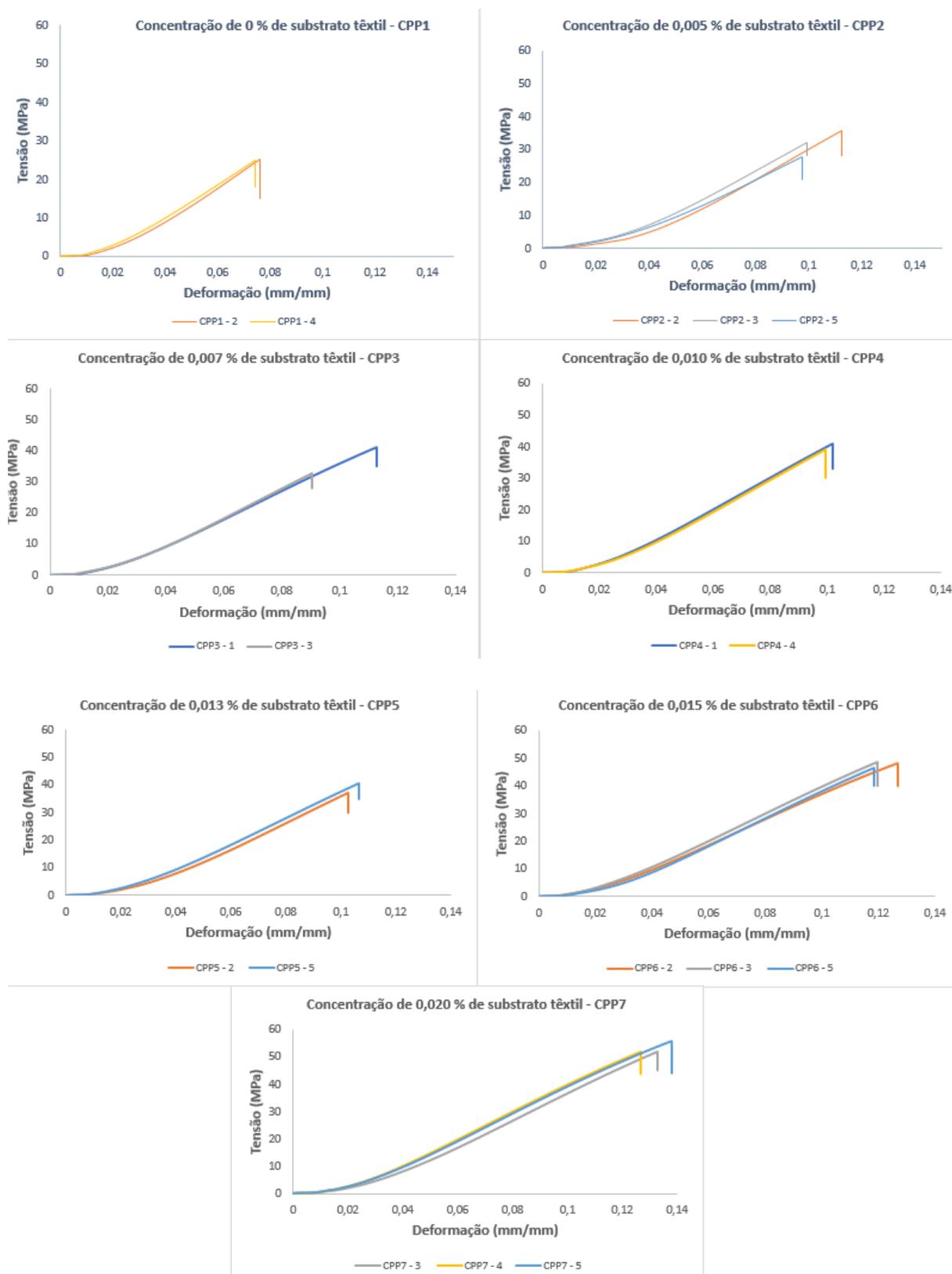
4.1.1 Ensaio de resistência à tração com resina de poliéster

O objetivo do ensaio foi determinar os valores de limite de resistência à tração dos compósitos produzidos. Os corpos de prova suportaram a carga crescente aplicada pela máquina de ensaios apresentando uma deformação uniforme. Não houve qualquer alteração estrutural notável até o momento em que a tensão se aproxima do limite de resistência à tração, quando então o compósito é rompido.

Os compósitos romperam na região de fixação, o que não era o esperado. Após a análise da curva tensão-deformação não foi detectado nenhum indício de adversidade no ensaio. E como todos os rompimentos ocorreram no mesmo local, os resultados foram considerados.

A Figura 29 apresenta as curvas tensão-deformação obtidas a partir dos ensaios mecânicos de tração realizados nas sete variações propostas. O CPP1 corresponde à proporção de 0 % de substrato têxtil, CPP2 - 0,005 %, CPP3 - 0,007 %, CPP4 - 0,010 %, CPP5 - 0,013 %, CPP6 - 0,015 % E CPP7 - 0,020 %.

Figura 29 – Curvas tensão-deformação dos compósitos de poliéster



Fonte: Autora 2023

O limite de resistência à tração representa a tensão no ponto máximo da curva tensão-deformação durante o ensaio mecânico de tração. O seu valor significa a

máxima tensão que pode ser sustentada por uma dada estrutura que se encontra sob tração (GARCIA; ALVARES SPIM, 2000).

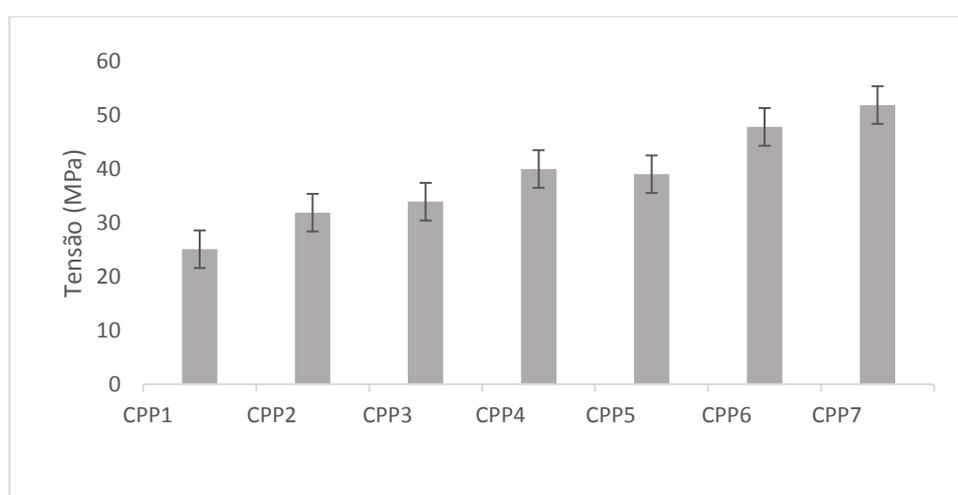
Os valores dos limites de resistência à tração das amostras foram obtidos ao encontrar os valores máximos da tensão durante todo o intervalo do teste. A Tabela 6 e a Figura 30 apresentam os valores médios do limite de resistência à tração (σ), deformação (ϵ) encontrados para cada grupo de amostras e seus respectivos desvios padrão.

Tabela 6 – Média das tensões máximas (MPa) dos compósitos de poliéster.

Amostra	Resistência à tração (MPa)	ϵ (mm/mm)	Módulo de elasticidade (GPa)	Nº de corpos de prova
CPP1	20,5 ± 0,19	7,5 ± 0,1 %	3,32	2
CPP2	31,8 ± 3,85	10,3 ± 0,8 %	3,08	3
CPP3	33,8 ± 1,57	10,1 ± 1,5 %	3,33	2
CPP4	39,9 ± 1,41	10 ± 0,19 %	3,96	2
CPP5	38,9 ± 2,49	10,4 ± 0,25 %	3,76	5
CPP6	47,7 ± 1,17	12,1 ± 0,46 %	3,92	3
CPP7	51,8 ± 0,25	13,2 ± 0,45 %	3,91	3

Fonte: Autora 2023

Figura 30 – Valores médios do limite de resistência à tração das amostras de PES



Fonte: Autora 2023

De acordo com Maciel (2017), a resina de poliéster tem característica de fratura frágil. Carvalho (2009) em sua investigação utilizando resina de poliéster, concluiu que a resistência à tração tende a aumentar com a incorporação de fibras de sisal.

Conforme os resultados obtidos, a resistência à tração aumentou significativamente com a inserção de substrato têxtil. Para Santhosh e Rao (2021) a adição do substrato têxtil nos compósitos aumenta a resistência à tração dos materiais compósitos.

A análise da Figura 31 demonstra que com a adição de substrato têxtil quando comparado com a resina de poliéster pura, teve um aumento de cerca de 55,12 % no limite de resistência à tração no CPP2. A resistência foi aumentando gradativamente, menos no CPP5 que teve uma redução de 2,5% em comparação com CPP4.

Houve diferenças significativas entre as composições, indicando que a resistência à tração tende a aumentar à medida que mais resina é substituída por fibras vegetais. El-Shekeil *et al.* (2014) observaram que a resistência à tração aumentou significativamente com o aumento da carga de fibra de coco de 20 % para 40 % quando utilizado em matriz de poliuretano. Fibras com menor comprimento (3,5mm) requerem maior concentração de carga para garantir o contato físico entre as fibras devido à sua geometria esférica (ZHANG; DEGHANI-SANIJ; BLACKBUR, 2007). Quando as fibras estão dispostas de maneira aleatória há menor eficiência mecânica dos compósitos do que as fibras contínuas. No entanto, os compósitos apresentam menor custo de produção e fabricação mais fácil em comparação com os compósitos de fibras contínuas (CALLISTER, 2002). À medida que o teor de fibra aumenta, as tensões tornam-se mais uniformemente distribuídas e a resistência à tração do compósito aumenta (JOSEPH; CARVALHO, 1999).

Conforme Abreu Junior e Pimentel (2016), quando a tração aumenta a taxa de deformação também deveria aumentar, mas, conforme apresentado na Tabela 6 os resultados foram inconclusivos quando se relaciona o limite de resistência a tração com a taxa de deformação do CPP3 e do CPP4.

O módulo de elasticidade está diretamente relacionado com a rigidez do material, quanto maior for o módulo mais rígido é o material ou a deformação elástica é menor (CALLISTER, 2007). Glória *et al.* (2000), utilizou resina de poliéster com reforço de folhas de abacaxi e observou que à medida que aumentou a proporção de fibras, aumentou significadamente o módulo de elasticidade, bem como a deformação total dos compósitos. De acordo com os dados obtidos, o módulo de elasticidade aumentou significativamente conforme foi incrementado as proporções de fibras.

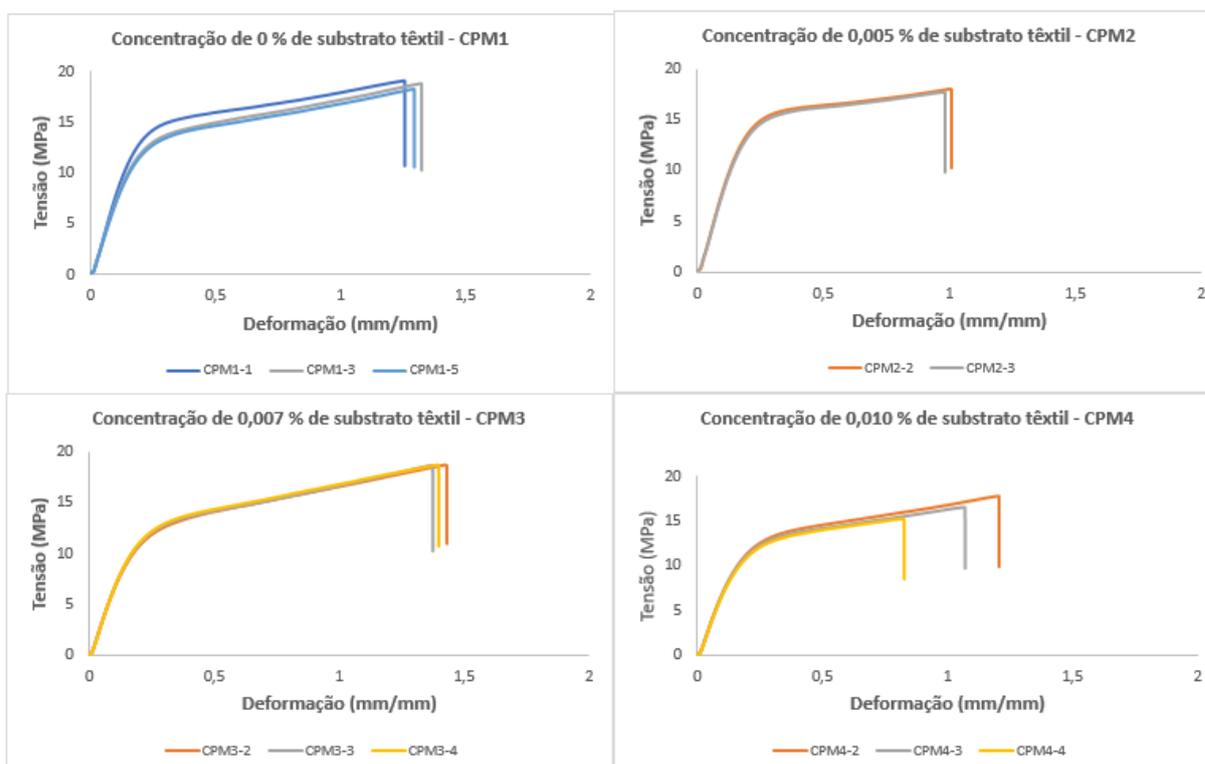
O CPP2 foi a que apresentou menor deformação quando comparada com os outros compósitos de matriz poliéster com algodão, e tendo maior deformação no CPP4 com 19,6% quando comparado com o poliéster puro e 1,26% menor com a

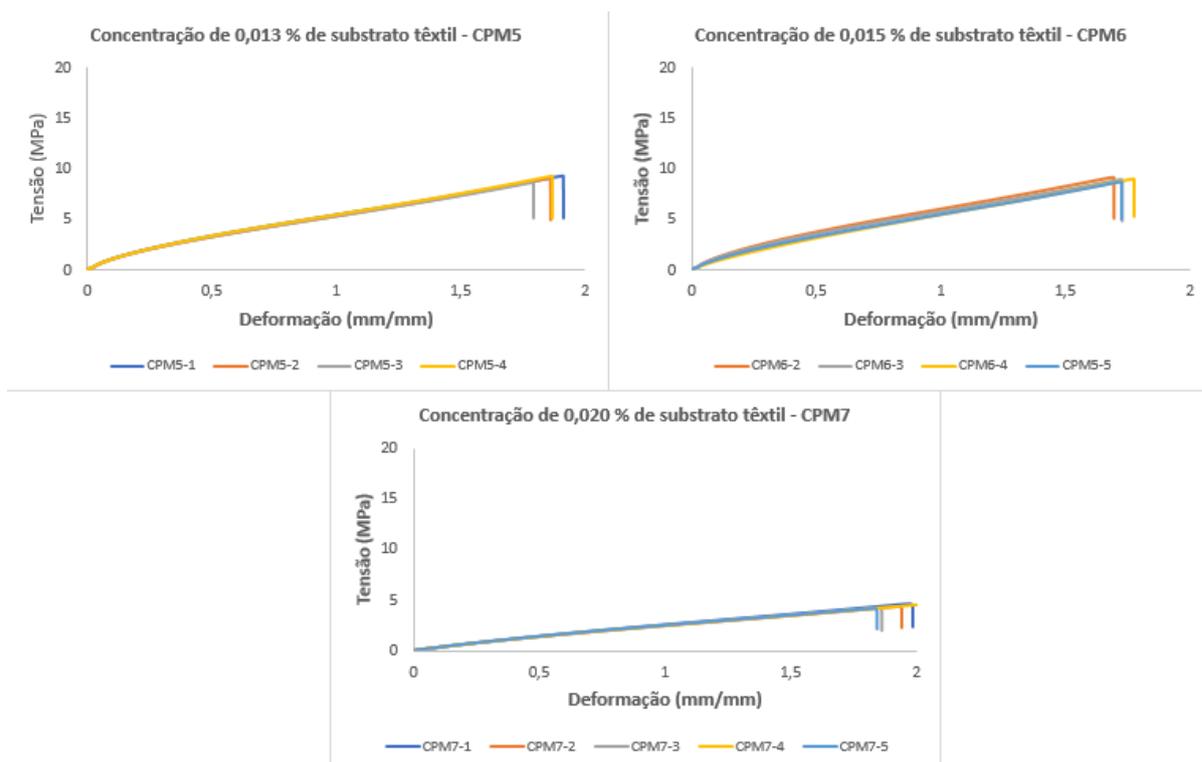
maior proporção de substrato têxtil (CPP7). Branco (2022), estudou resina de poliéster com fibra de Envira e constatou que quanto menor for a deformação maior será o módulo de elasticidade.

4.1.2 Ensaio de resistência à tração com resina de mamona

Para a resina de mamona, a Figura 31 apresenta as curvas tensão-deformação obtidas a partir dos ensaios mecânicos de tração. O CPM1 corresponde a concentração de 0 % de substrato têxtil, CPM2 - 0,005 %, CPM3 - 0,007 %, CPM4 - 0,010 %, CPM5 - 0,013 %, CPM6 - 0,015 % e CPM7 - 0,020 %.

Figura 31 – Curvas tensão-deformação dos compósitos de mamona





Fonte: Autora 2023

A partir da Tabela 7 pode-se comparar os valores médios da resistência à tração dos compósitos com resina de mamona e substrato têxtil.

Tabela 7 – Média das tensões máximas (MPa) dos compósitos de mamona.

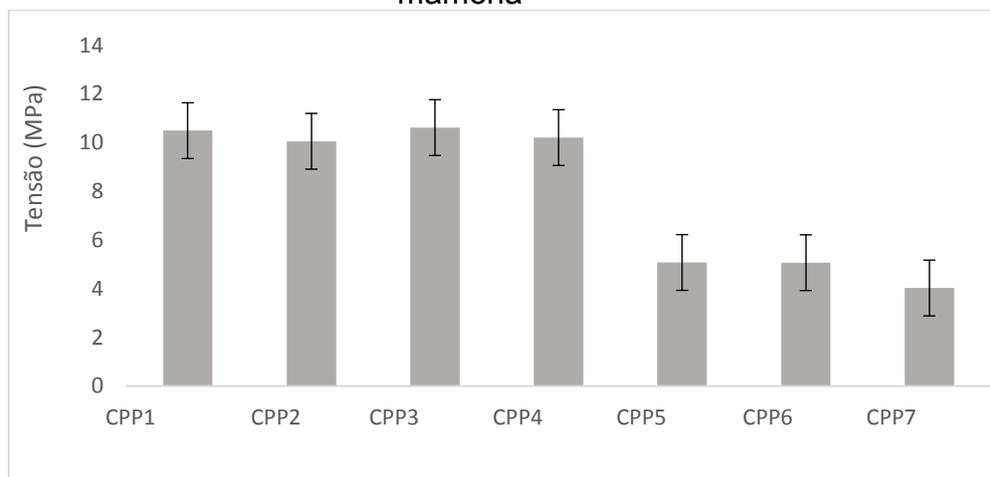
Amostra	Resistência à tração (MPa)	ϵ (mm/mm)	Módulo de elasticidade (GPa)	Nº de corpos de prova
CPM1	10,49 ± 0,18	129 ± 2,7%	0,08	3
CPM2	10,05 ± 0,21	99 ± 1,3%	0,11	2
CPM3	10,61 ± 0,30	140 ± 2,2%	0,07	3
CPM4	10,20 ± 0,61	103 ± 15%	0,09	3
CPM5	5,07 ± 0,07	185 ± 4,9%	0,02	4
CPM6	5,06 ± 0,15	173 ± 2,8%	0,02	4
CPM7	4,02 ± 0,30	193 ± 8,5%	0,02	5

Fonte: Autora 2023

Conforme apresentado na Figura 31, o poliuretano de mamona submetido à tração obteve uma curva característica dos polímeros dúcteis até o CPM4, que sofrem escoamento na tensão máxima e posteriormente a deformação plástica até a sua ruptura (Silvia, 2003). Para os compósitos CPM5, CPM6 e CPM7, após a sua máxima tensão ocorreu deformação elástica e deixou de ser dúctil.

A Figura 32 apresentam os valores médios do limite de resistência à tração encontrados para os grupos de amostras de resina de mamona com substrato têxtil e seus respectivos desvios padrão.

Figura 32 – Valores médios do limite de resistência à tração das amostras de mamona



Fonte: Autora 2023

De acordo com os dados obtidos, quando é adicionado substrato têxtil é reduzido a resistência a tração dos compósitos. Esperava-se que com o aumento de substrato têxtil aumentasse também a resistência mecânica até o seu ponto de saturação. Conforme Santos Filho (2023), a porosidade é um fator determinante nas propriedades mecânicas do material, pois à medida que ocorre o aumento da porosidade no material tem-se a perda das propriedades mecânicas do compósito.

De acordo com o módulo de elasticidade dos compósitos fabricados e resultados verificados na literatura, observou-se que a partir dos resultados do ensaio de tração apresentados na Tabela 7, é possível notar que a resina de mamona apresenta valores inferiores de resistência à tração em comparação com a resina de poliéster com o mesmo substrato têxtil, por ser mais flexível, dúctil e apresentar porosidade.

A resina de poliéster pura é 49 % mais resistente que a resina de mamona pura e quando comparado os compósitos com a máxima fração mássica de substrato têxtil, o compósito de mamona é ainda 80 % mais resistente, ou seja, a resistência do compósito de mamona é devido a porosidade que ocorre com a adição da fibra. Em relação a deformação, o compósito de mamona com a máxima proporção de fibra utilizada deforma 93 % quando comparado com o compósito de poliéster na mesma

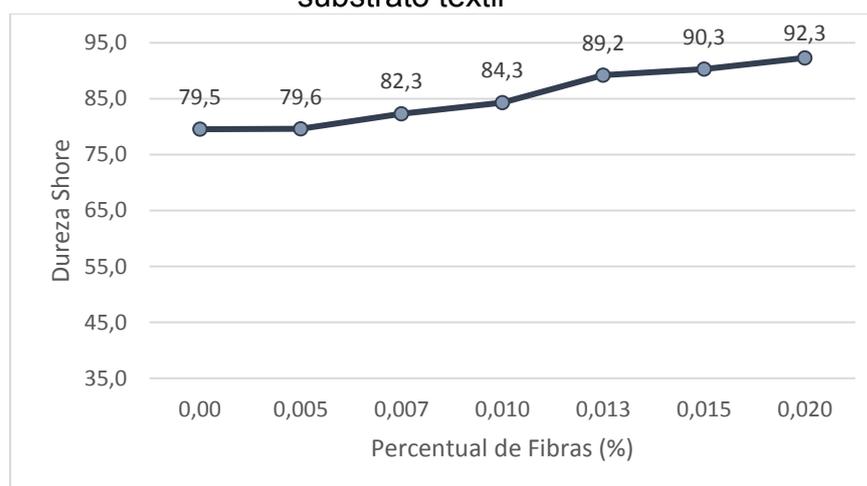
fração mássica. Já no módulo de elasticidade, a resina pura de poliéster é 97 % mais rígida que a resina de mamona.

Para a utilização de botões no vestuário, a resistência à tração não influencia, portanto é possível a utilização dois compósitos produzidos, independente da resina.

4.1.3 Ensaio de dureza

No ensaio de dureza *shore* foi avaliado a dureza de superfície do material, que pode contribuir na indicação de fragilidade do material. A Figura 33 apresenta a média do ensaio de dureza realizado no compósito de resina de poliéster com as diferentes concentrações de substrato têxtil.

Figura 33 – Ensaio de dureza *shore* para o compósito de resina de poliéster com substrato têxtil

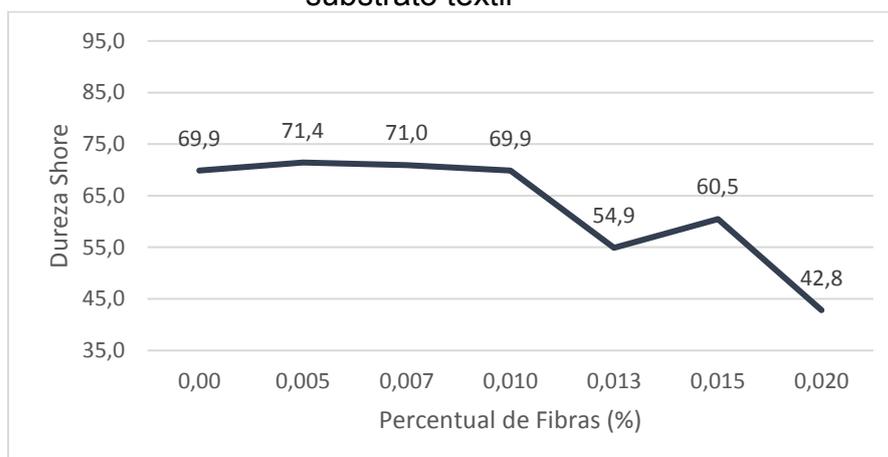


Fonte: Autora, 2023

De acordo com a Figura 33, os resultados da média do ensaio demonstram que houve um aumento da dureza superficial à medida que a porcentagem de fibras foi se elevando, indicando que a resistência à penetração aumenta com a inserção de fibras. A interação fibra/matriz é favorecida por fibras menores, aumentando desta forma a dureza (LEITE, 2002).

A Figura 34 apresenta a média do ensaio de dureza *shore* para o compósito de resina de mamona com substrato têxtil em diferentes concentrações.

Figura 34 – Ensaio de dureza *shore* para o compósito de resina de mamona com substrato têxtil



Fonte: Autora, 2023

A dureza do compósito de resina de mamona diminuiu à medida que foi acrescentado maiores percentuais de substrato têxtil. Com 0,015 % de substrato têxtil houve um pequeno acréscimo em relação a 0,010 % de fibras, mas diminuiu significativamente a partir de 0,020 %. Analisando novamente a Tabela 7 verifica-se que os valores de CPM5 e CPM6 no que se refere as tensões máximas são muito similares também.

Petrovic *et al.* (2008) acrescenta que devido aos baixos valores de dureza do poliuretano de mamona este material pode ser usado em aplicações que não requer que o material seja tão rígido, como em calçados. A dureza dos compósitos não influencia para a utilização em botões para o segmento de vestuário.

4.1.4 Análise estatística

As análises estatísticas de tração e dureza para a mistura algodão/poliéster e algodão/poliuretano de mamona foram realizadas por meio da análise de variância (ANOVA) com 5 % de significância. Para os dois polímeros a análise iniciou verificando qual o melhor modelo que se ajustava aos resultados obtidos e para tanto foram testados os modelos linear e quadrático. Para selecionar o modelo que melhor representa as misturas estudadas levou-se em consideração o coeficiente de ajuste (R^2) e a análise de variância do ajuste, cujo resultado é dado pela avaliação da significância do “lack of fit” (falta de ajuste). O modelo representará o sistema quando a falta de ajuste não for significativa ($p\text{-value} > 0,05$). De posse da análise de variância, foram determinados os coeficientes do modelo preditivo.

A análise de variância (ANOVA) linear e quadrática para o ensaio de tração dos componentes da mistura de resina de poliéster e fibra de algodão está apresentada na Tabela 8. Entre os modelos testados, verificou-se que o modelo quadrático apresenta um R^2 igual a 0,895058, superior ao R^2 do modelo linear, cujo valor foi de 0,885820. Assim foi considerado o modelo quadrático para a sequência da análise dos resultados. A Tabela 9 apresenta a análise de variância para modelo quadrático.

Tabela 8 – Análise de variância linear e quadrática do compósito de poliéster/algodão para ensaio de tração

Modelo	Soma dos quadrados	Graus de Liberdade	Média dos Quadrados	Valor - F	Valor - p	R-quadrado	R-Ajustado
Linear	1827,18	1	1827,18	124,12	0,000	0,885820	0,878684
Quadrático	19,055	1	19,055	1,3204	0,268	0,895058	0,881065
Total	2062,66	17	121,335				
Ajustado							

Fonte: Autora, 2023

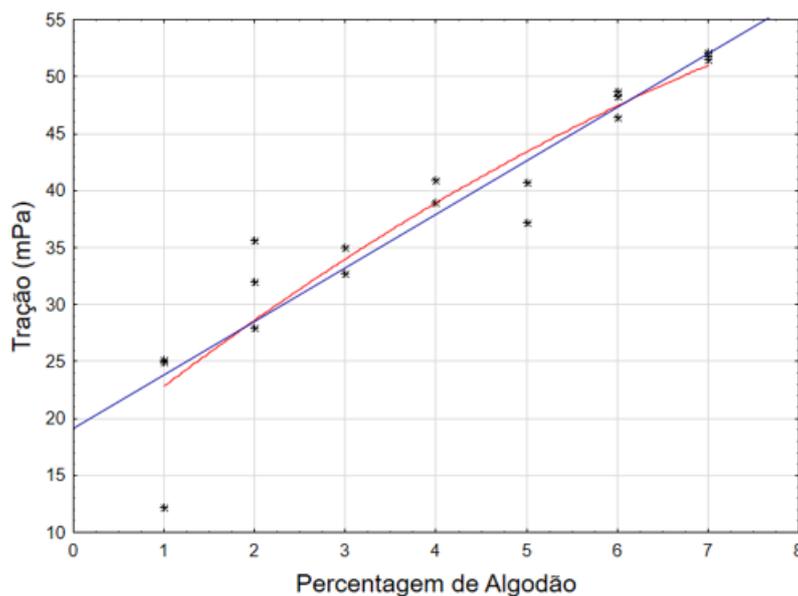
Tabela 9 – Análise do ajuste geral do modelo quadrático do compósito de poliéster/algodão para ensaio de tração

Modelo	SS	Graus de Liberdade	Média dos Quadrados	Valor-F	Valor-p
Total Erro	216,464	15	14,4310		
Falta de ajuste	61,983	4	15,4958	1,10339	0,402671
Erro	154,48	11	14,0438		
Total ajustado	2062,699	17	121,3353		

Fonte: Autora, 2023

O modelo preditivo quadrático selecionado para representar o comportamento do compósito poliéster/algodão demonstrou uma falta de ajuste não significativa, como pode ser comprovada pela Figura 35. Observando a curva polinomial quadrática (vermelha) pode-se perceber que o modelo, mesmo com uma dispersão de pontos que faz com que o R^2 não seja alto, porém pode representar o sistema. Pelo modelo pode-se dizer que acima de 0,010% de fibras no compósito resina de poliéster/algodão não há mais contribuição para um aumento da resistência à tração.

Figura 35 – Pontos médios do ensaio de tração da mistura de poliéster, com os tratamentos e as composições de fibras: (1) 0 %, (2) 0,005 %, (3) 0,07 %, (4) 0,010 %, (5) 0,013 %, (6) 0,015 % e (7) 0,020 % (da esquerda para a direita). Os ajustes da figura são polinomiais quadrático (vermelho) e linear (azul) referente aos pontos médios.



Fonte: Autora, 2023

A Tabela 10 apresenta a análise de variância linear e quadrática para o ensaio de tração dos componentes da mistura resina de mamona/algodão. Verifica-se que o modelo quadrático apresenta um R^2 igual a 0,803708, superior ao R^2 do modelo linear, cujo valor foi de 0,788964. Assim foi considerado o modelo quadrático para a sequência da análise dos resultados para o ajuste geral do modelo quadrático, é apresentada na Tabela 10.

Tabela 10 – Análise de variância linear e quadrática do compósito de resina de mamona/algodão para ensaio de tração

Modelo	Soma dos quadrados	Graus de Liberdade	Média dos Quadrados	Valor -F	Valor -p	R-quadrado	R-Ajustado
Linear	160,3531	1	160,3531	85,9863	0,000	0,788964	0,77978
Quadrático	2,9966	1	2,9966	1,65244	0,2119	0,803708	0,78586
Total	203,2451	24	8,4685				
Ajustado							

Fonte: Autora, 2023

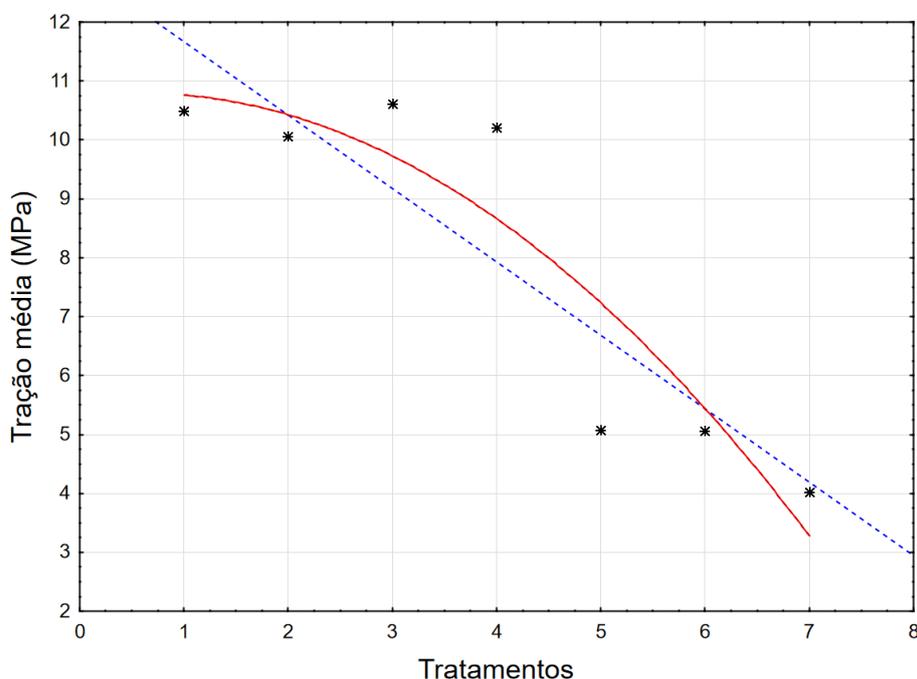
Tabela 11 – Análise do ajuste geral do modelo quadrático do compósito de resina de mamona/algodão para ensaio de tração

	SS	Graus de Liberdade	Média dos Quadrados	Valor-F	Valor-p
Modelo	163,3497	2	81,67484	45,03897	0,0000
Total Erro	39,8954	22	1,81343		
Falta de ajuste	37,7576	4	9,43941	79,48097	0,0000
Erro	2,1377	18	0,11876		
Total ajustado	203,2451	24	8,46854		

Fonte: Autora, 2023

O coeficiente de ajuste (R^2), que representa a variância dos pontos experimentais, foi superior para a resina de poliéster, entretanto falta de ajuste (lack of fit) foi significativo para o modelo preditivo quadrático. O comportamento dos tratamentos em relação à tração média (apresentados em ordem progressiva de proporção de algodão) estão apresentados na Figura 36, onde se verifica um comportamento divergente tanto para um ajuste linear como para quadrático. A sugestão para obtenção de um modelo representativo seria aumentar o número de amostras (replicatas) tanto de formação de compósito como para os ensaios de tração.

Figura 36 – Pontos médios do ensaio de tração da mistura de mamona, com os tratamentos e as composições de fibras: (1) 0 %, (2) 0,005 %, (3) 0,07 %, (4) 0,010 %, (5) 0,013 %, (6) 0,015 % e (7) 0,020 % (da esquerda para a direita). Os ajustes da figura são polinomiais quadrático (vermelho) e linear (azul) referente aos pontos médios.



Fonte: Autora, 2023

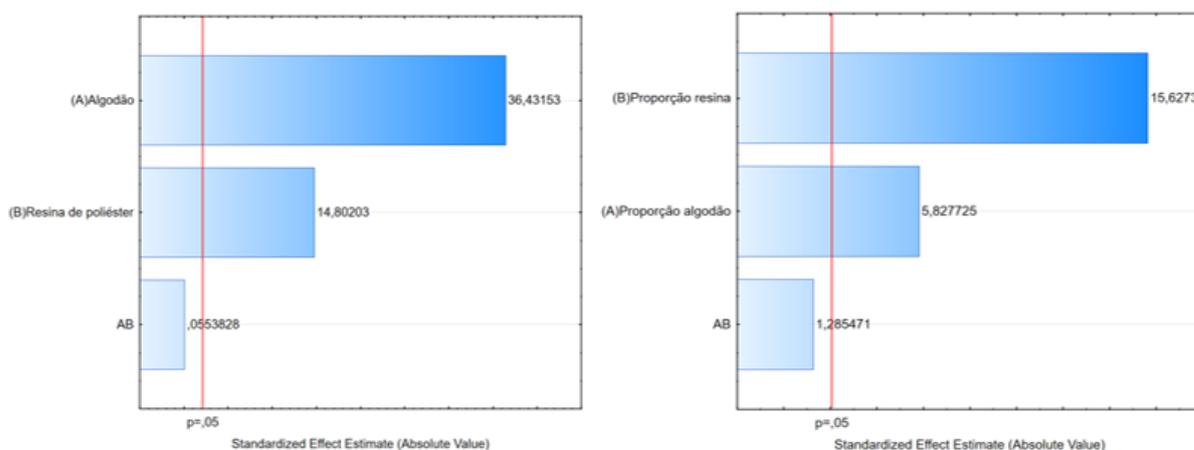
O comportamento da tração tanto para a resina de mamona como para a resina de poliéster pode ter uma relação com a heterogeneidade da mistura, na qual foi observado que houve certa tendência em aglomerar as fibras e provocar variação visual, que pode ser correlacionado com a própria variação irregular observada no teste de tração dos corpos de prova. Salienta-se que o aumento no número de análises de tração aumentaria os graus de liberdade e com isso apontaria para uma maior segurança sobre o ajuste dos modelos selecionado, e, um aumento no número de níveis estudados possibilitaria avaliar modelos mais robustos, como um modelo cúbico.

Ambos os polímeros possuem baixa afinidade química com as fibras de algodão, porém, a resina de mamona apresenta um comportamento diferente da resina de poliéster, sendo a resina de mamona mais flexível, o que pode estar interferindo numa melhor acomodação das fibras na matriz, resultado numa melhor distribuição das mesmas.

A análise de variância também estabelece a significância das variáveis estudadas. O gráfico de Pareto (Figura 37-a) apresenta os fatores que são

significativos para a tração na mistura poliéster/algodão e, a Figura 37-b apresenta os fatores significativos para tração da mistura mamona/algodão. Verifica-se que para a tração ambos os fatores estudados são significativos e ainda o sistema apresentou uma interação favorável para o aumento da resistência à tração do compósito formado.

Figura 37 – Gráfico de Pareto (a) mistura de poliéster/algodão para ensaio de tração, (b) mistura resina de mamona/algodão para ensaio de tração.



Fonte: Autora, 2023

Observando o Diagrama de Pareto (Figura 37) vê-se que para ambos os compósitos o efeito da percentagem de algodão é positivo, o que implica que quanto maior a quantidade de algodão presente no compósito mais resistente à tração será o material, dentro dos limites estudados. Da mesma forma a proporção maior de resina também favorece a maior resistência à tração dos compósitos, bem como a resina de poliéster também exibiu uma interação favorável para a melhoria da tração dos compósitos.

O comportamento da mistura resina de mamona/algodão é semelhante ao observado no compósito de resina de poliéster, com ordem de grandeza respectiva aos valores obtidos nos ensaios de tração deste material. A interação entre resina de mamona e algodão não foi significativa, considerando nível de significância de 5%.

Trabalhos utilizando fibras naturais para a formação de compósitos de resina tanto de poliuretano, como de poliéster obtiveram melhores resultados quando aplicaram diferentes tratamentos (físicos ou químicos) nas fibras, para promover melhores interações entre os materiais. Tratamentos das fibras naturais podem

contribuir para uma redução da hidrofiliidade das fibras e melhorar a interação entre os polímeros e a superfície do material, por exemplo, (FARUK et al. 2014).

As análises estatísticas da mistura em pseudocomponente da mistura de resina poliéster e fibra de algodão com os resultados de ANOVA dos ensaios de dureza estão apresentados na Tabela 12. Entre os modelos testados, verifica-se que o modelo quadrático apresenta um R^2 igual a 0,5413, superior ao R^2 do modelo linear, cujo valor foi de 0,002859. Assim foi considerado o modelo quadrático para a sequência da análise dos resultados. A Tabela 13 apresenta a análise de variância do ajuste geral do modelo quadrático.

Tabela 12 – Análise de variância linear e quadrática do compósito de poliéster/algodão

Modelo	Soma dos quadrados	Graus de Liberdade	Média dos Quadrados	Valor-F	Valor-p	R-quadrado	R-Ajustado
Linear	2,3592	1	2,3592	0,09343	0,7603	0,0028	0,0000
Quadrático	444,3284	1	444,3284	11,8282	0,0000	0,5413	0,5126
Total	825,1914	34	24,2703				
Ajustado							

Fonte: Autora, 2023

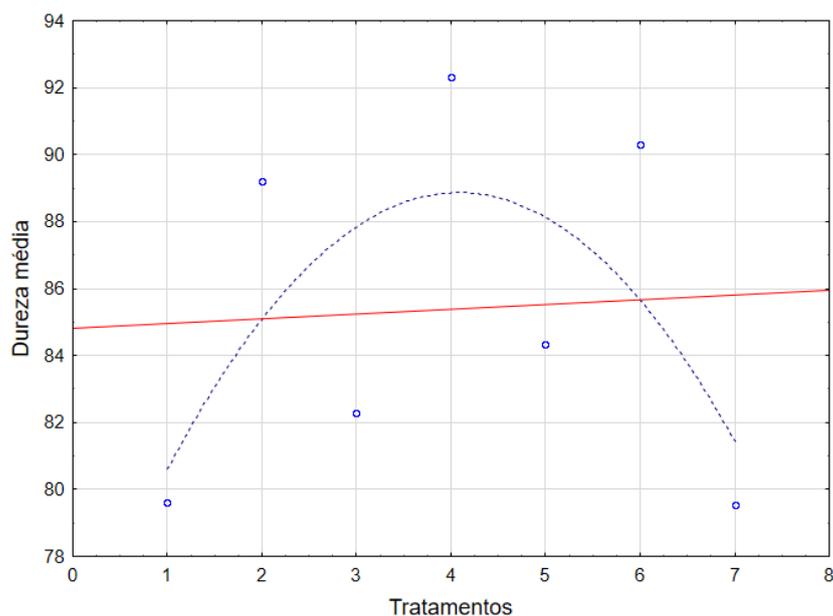
Tabela 13 – Análise do ajuste geral do modelo quadrático do compósito de poliéster/algodão

	SS	Graus de Liberdade	Média dos Quadrados	Valor-F	Valor-p
Modelo	446,6876	2	223,3438	18,882	0,000004
Total Erro	378,5038	32	11,8282		
Falta de ajuste	376,9678	4	94,2420	1717,952	0,000000
Erro	1,5360	28	0,0549		
Total ajustado	825,1914	34	24,2703		

Fonte: Autora, 2023

A falta de ajuste do modelo preditivo quadráticos se apresentou significativo e a justifica pode ser visualizada no gráfico da Figura 38.

Figura 38 – Pontos médios do ensaio de dureza da mistura de poliéster, com os tratamentos e as composições de fibras: (1) 0 %, (2) 0,005 %, (3) 0,07 %, (4) 0,010 %, (5) 0,013 %, (6) 0,015 % e (7) 0,020 % (da esquerda para a direita). Os ajustes da figura são polinomiais quadrático (vermelho) e linear (azul) referente aos pontos médios.



Fonte: Autora, 2023

Pela análise dos ensaios realizados prevê-se que a maior dureza no universo investigado é de 88,9 (Unidade de medida) se dá quando a proporção de fibras de algodão é de 1,02 % para 98,8% de resina de poliéster.

Para os ensaios de dureza do compósito de resina de mamona/algodão, a Tabela 14 apresenta a análise de variância para os modelos linear e quadrático. Entre os modelos testados, verifica-se que o modelo quadrático apresenta um R^2 igual a 0,90905 superior ao R^2 do modelo linear, cujo valor foi de 0,73706. Assim foi considerado o modelo quadrático para a sequência das análises dos resultados. A Tabela 15 apresenta a análise de variância para o modelo quadrático e a Figura 39 mostra o comportamento da dureza para os ensaios, colocando as proporções de algodão em ordem crescente no eixo x.

Tabela 14 – Análise de variância linear e quadrática do compósito de mamona para ensaio de dureza

Modelo	Soma dos quadrados	Graus de Liberdade	Média dos Quadrados	Valor-F	Valor-p	R-quadrado	R-Ajustado
Linear	2637,809	1	2637,809	92,5056	0,000	0,7370	0,7290
Quadrático	615,518	1	615,518	60,5154	0,000	0,9090	0,9033
Total	3578,807	34	105,25				
Ajustado							

Fonte: Autora, 2023

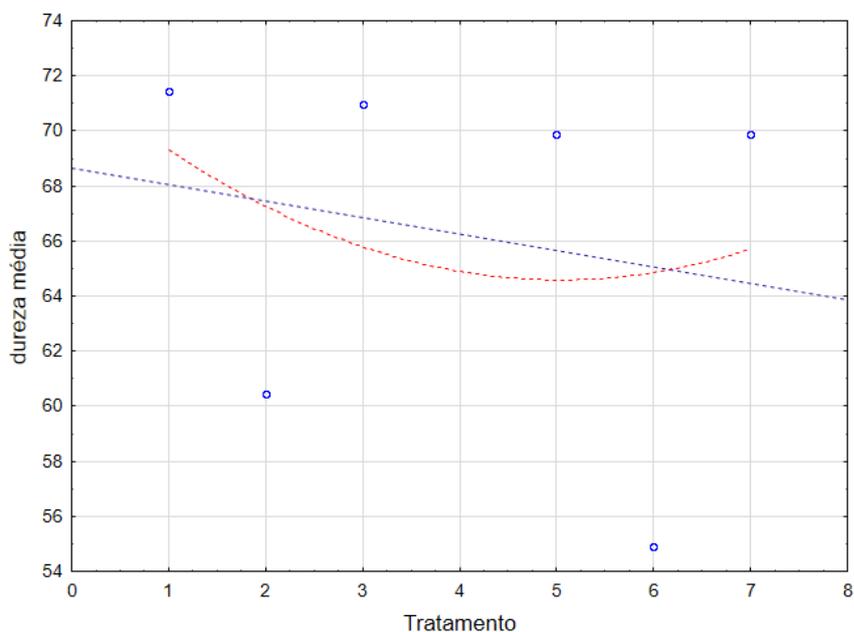
Tabela 15 – Análise do ajuste geral do modelo quadrático do compósito de mamona para ensaio de dureza

	SS	Graus de Liberdade	Média dos Quadrados	Valor-F	Valor-p
Modelo	3253,327	2	1626,664	159,9275	0,00000
Total Erro	325,480	32	10,171		
Falta de ajuste	287,552	4	71,888	53,0707	0,00000
Erro	37,928	28	1,355		
Total ajustado	3578,807	34	105,259		

Fonte: Autora, 2023

A falta de ajuste significativo para o modelo quadrático informa que é não possível assumir o modelo para representar o sistema da proporção resina de mamona/algodão para os ensaios de dureza.

Figura 39 – Pontos médios do ensaio de dureza do compósito de poliéster, com os tratamentos e as composições de fibras: (1) 0 %, (2) 0,005 %, (3) 0,07 %, (4) 0,010 %, (5) 0,013 %, (6) 0,015 % e (7) 0,020 % (da esquerda para a direita). Os ajustes da figura são polinomiais quadrático (vermelho) e linear (azul) referente aos pontos médios.

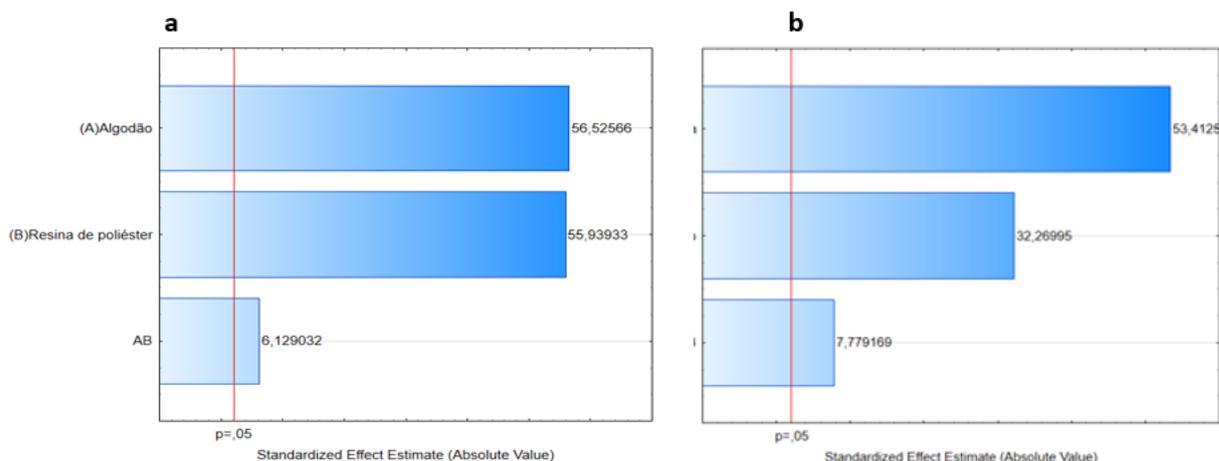


Fonte: Autora, 2023

Observando a Figura 39 verifica-se que apesar do ajuste não representar o sistema, percebe-se uma tendência de decréscimo da dureza à medida que a proporção de algodão no compósito aumenta. Entretanto, se considerar o intervalo entre os pontos dos tratamentos 3, 5 e 7 eles são iguais estatisticamente.

O gráfico de Pareto (Figura 40) apresenta a contribuição dos efeitos de cada componente da mistura do compósito resina de poliéster/algodão e resina de mamona/algodão para dureza. Os compósitos de resina de poliéster/algodão têm a proporção de fibra e de resina com a mesma ordem de grandeza e ambos fatores são significativos e positivos. Para a mistura resina de mamona/algodão tem um comportamento estatístico semelhante à resina de poliéster, porém a resina de mamona contribui menos com a dureza.

Figura 40 – Gráfico de Pareto (a) mistura de poliéster/algodão para ensaio de dureza, (b) mistura mamona/algodão para ensaio de dureza



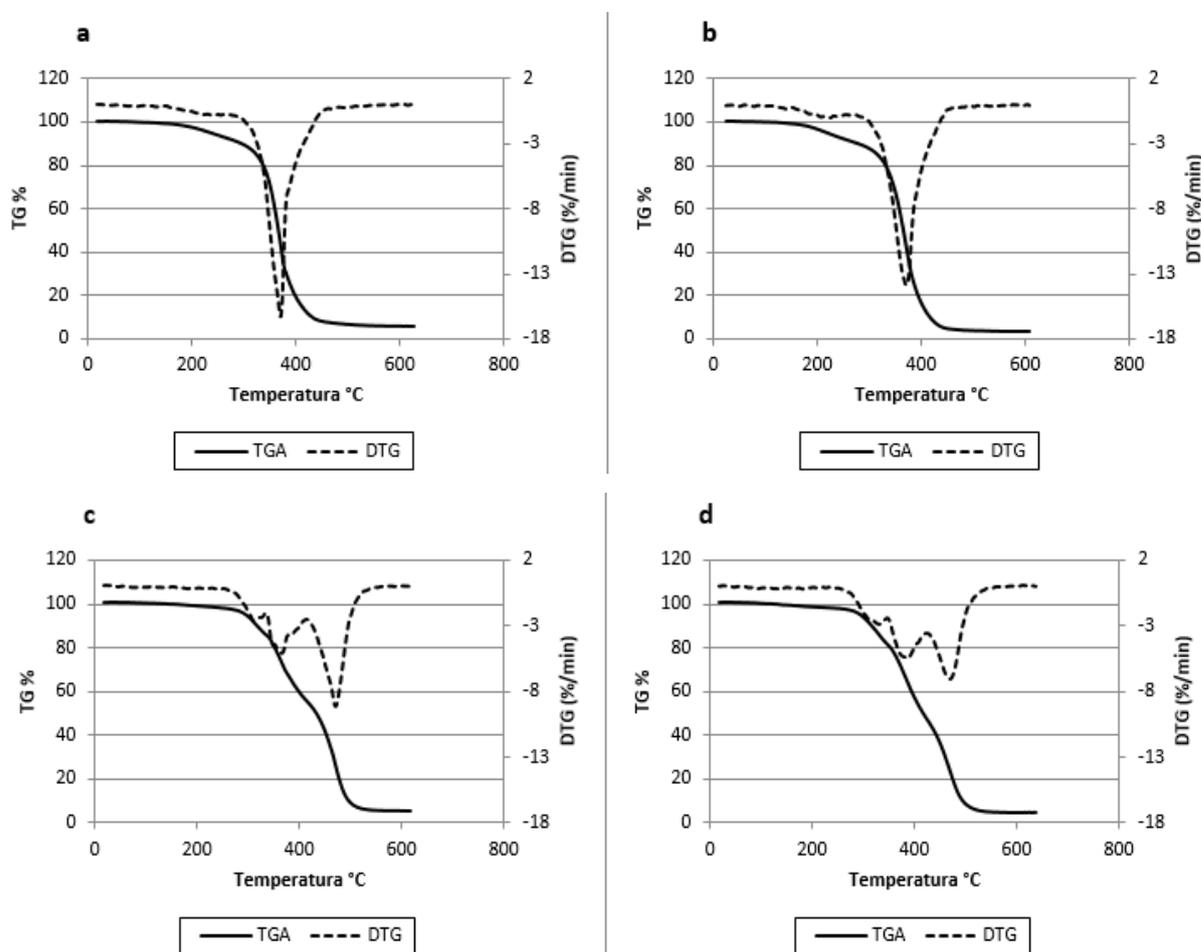
Fonte: Autora, 2023

A Figura 39 apresenta os pontos médios do ensaio de dureza da mistura de poliéster com os tratamentos em diferentes composições de substrato têxtil. De acordo com os resultados obtidos pela ANOVA, a melhor condição para maior dureza é de 0,5% algodão e 99,5% de resina de mamona.

4.1.5 Análise termogravimétrica

Os gráficos da Figura 41 mostram as curvas obtidas a partir da análise termogravimétrica. Os pontos de inflexão indicam a transição entre eventos térmicos, que podem indicar rompimento de ligações químicas, perda de umidade ou degradação de diferentes substâncias presentes no material (FOGAÇA; LIMA, 2017). Para a análise foi comparado as resinas puras de poliéster e de mamona e os compósitos com o máximo de fibra utilizado para avaliar a influência de uma maior concentração. A Figura 41-a apresenta as curvas térmicas do material de 100 % poliéster e a Figura 41-b a do compósito de poliéster com 0,020 % de fibra têxtil. A Figura 41-c apresenta a curva térmica do material 100 % de mamona e a Figura 41-d o compósito de mamona com 0,020 % de fibra têxtil.

Figura 41 – Curvas térmicas das amostras 100% resina de poliéster (a), poliéster/0,020 % de algodão (b), 100% resina de mamona (c) e mamona/algodão 0,020 % (d) de TGA/DTG



Fonte: Autora, 2023

De acordo com a Figura 41 percebe-se que os compósitos de resina de poliéster possuem boa estabilidade térmica (MARQUES, 2016), cerca de 75 % de sua massa no intervalo de temperatura entre 300 - 400°C foi reduzida.

As curvas de DTG apresentam picos nas faixas de temperaturas em que ocorre variação da perda de massa, sendo que o ponto de máximo do pico corresponde à taxa máxima de variação de massa (SERVES, 2007). Na Figura 41-a a curva DTG apresenta que o poliéster começa perder massa em 289 °C, quando continua perder massa até 371 °C, o que equivale à máxima taxa de decomposição e 57 % da perda de massa, sendo que a degradação total finaliza em 438°C. Na Figura 41-b a curva TG/DTG a perda de massa inicia em torno de 289 °C até a taxa máxima de decomposição em 373 °C, que representa 59 % de perda de massa e a degradação total em 438 °C e, já a decomposição do algodão começou em 22°C e foi em até

100°C, tendo uma perda de massa de aproximadamente 5%. Sato (2018) em seu estudo com compósitos em resina de poliéster reforçado com fibra de algodão verificou a perda de 57 % de massa quando a temperatura atingiu 388,49 °C.

Referente aos compósitos com resina de poliuretana, Alves (2010) verificou que há duas etapas no seu processo de degradação. A primeira em aproximadamente 385 °C é referente ao rompimento das ligações uretanas, enquanto que a segunda etapa tange a decomposição das quebras das ligações ésteres presentes no polioli em aproximadamente 472 °C. Conforme Fogaça e Lima (2017), a perda de massa do poliuretano de óleo de mamona inicia somente em torno de 290 °C, e ocorre a uma taxa quase constante até sua total degradação, em torno de 500 °C.

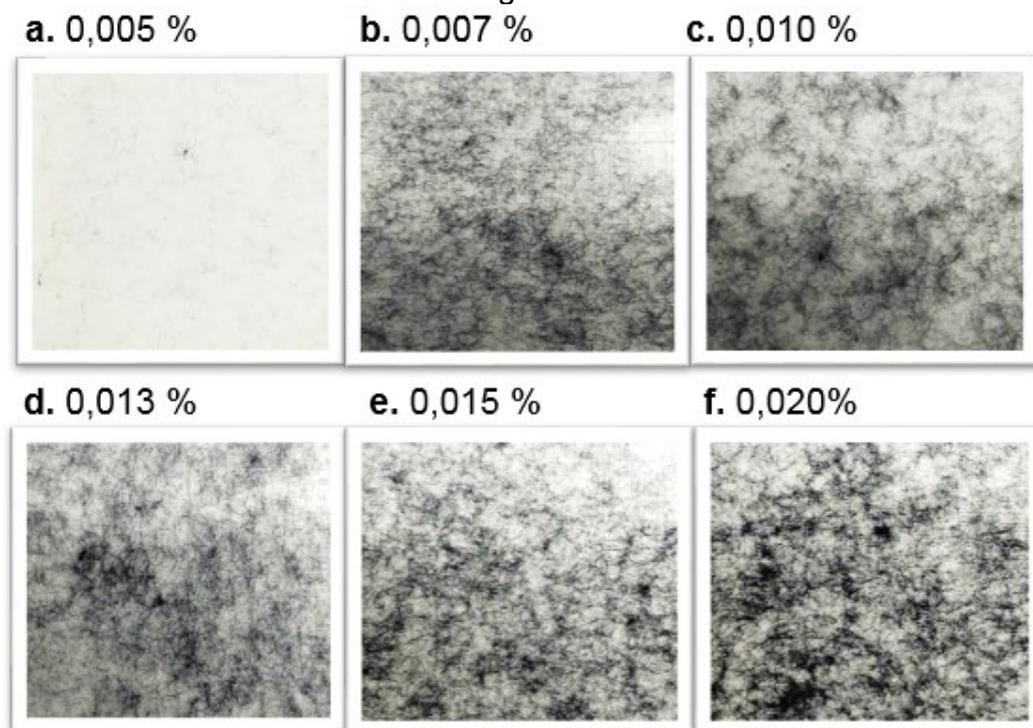
Analisando os resultados obtidos para a resina de mamona (Figura 41-c), os resultados foram muito similares aos encontrados na literatura. A curva da derivada a primeira perda de massa em 14 % inicia em aproximadamente 335 °C e o segundo pico em 478 °C, com 30 % da perda de massa até o fim de degradação que ocorre em 511 °C. Nota-se que o compósito de mamona reforçado com algodão apresentou maior estabilidade térmica em relação ao poliuretano puro. Na Figura 41-d na curva da derivada, a primeira perda de massa iniciou-se em 290 °C, quando ocorre aproximadamente 33 % da perda de massa. Há seguir ocorre o pico em 380°C, temperatura esta que se aproxima da temperatura máxima de degradação do algodão (346,04°C). Em seguida a segunda perda de massa (70 %) ocorre no pico em 460 °C até sua decomposição final em 512 °C.

De acordo com as análises, a adição de substrato têxtil nos compósitos aumenta a estabilidade térmica em comparação com a resina pura.

4.1.6 Análise macroscópica

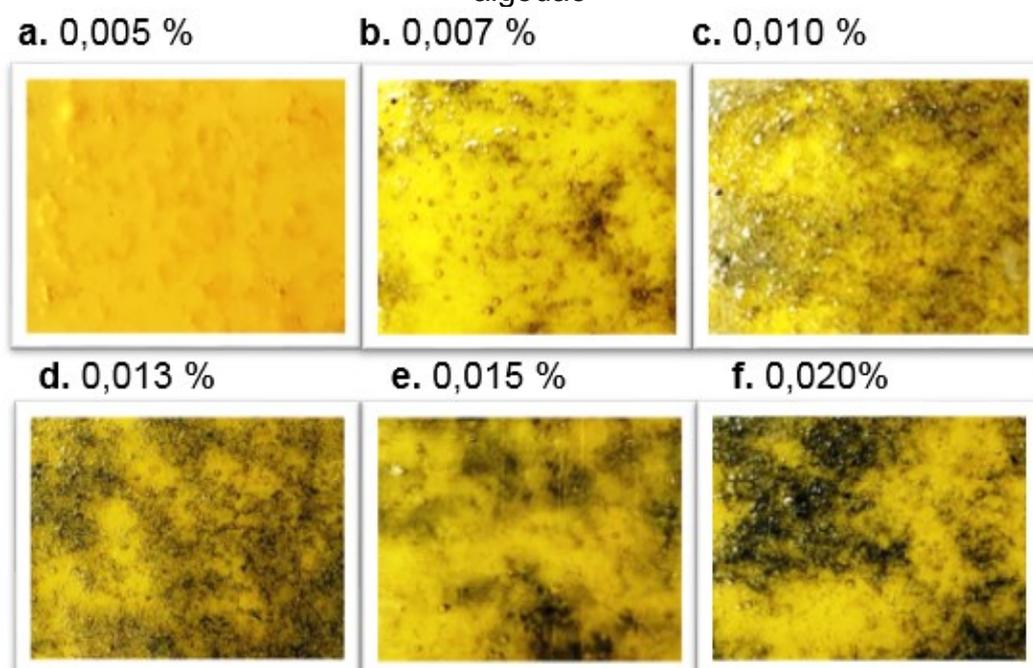
A partir da análise macroscópica foi possível observar que os compósitos com a resina de poliéster ficaram de certa forma homogêneos (Figura 42). Porém, na mistura com a resina de mamona, quanto mais fibras são inseridas menos homogêneas ficam os compósitos (Figura 43).

Figura 42 – Análise macroscópica do compósito de resina de poliéster com fibra de algodão



Fonte: Autora, 2023

Figura 43 – Análise macroscópica do compósito de resina de mamona com fibra de algodão



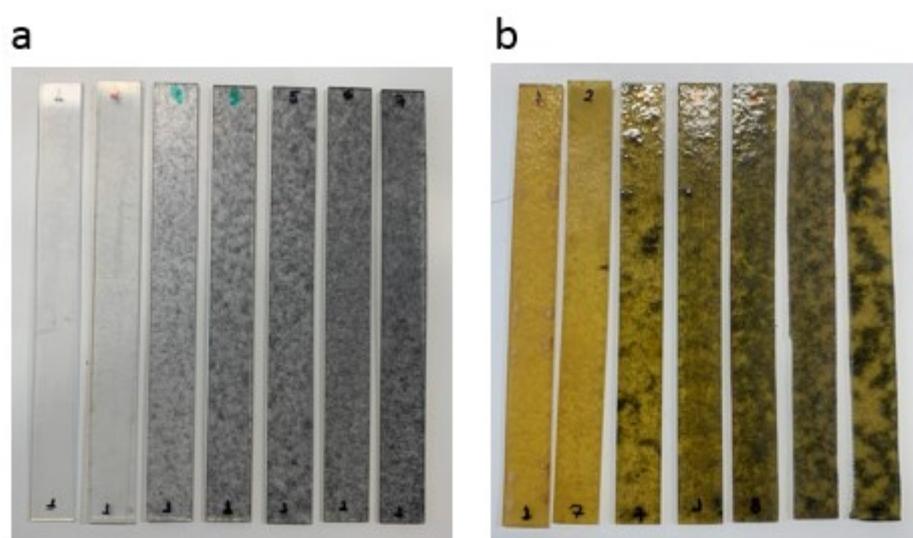
Fonte: Autora, 2023

Os compósitos com resina de mamona apresentaram cor amarelada em toda sua superfície (devido a cor da resina) e com bolhas bem visíveis, o que é uma

característica do poliuretano de mamona (Figura 43). Conforme é aumentado a proporção de substrato têxtil, aumenta a pilosidade do compósito. Já no compósito de poliéster é possível visualizar uma melhor dispersão do substrato têxtil na resina.

A Figura 44 apresenta os corpos de prova das diferentes proporções de resina de poliéster e de resina de mamona.

Figura 44 – Corpos de prova de resina de poliéster (a) e de mamona (b) com as proporções: 0 %, 0,005 %, 0,07 %, 0,010 %, 0,013 %, 0,015 % e 0,020 %.



Fonte: Autora, 2023

De acordo com a Figura 44, comparando os compósitos, é possível visualizar aqueles em que se utilizou resina de poliéster são mais homogêneos que aqueles com resina de mamona.

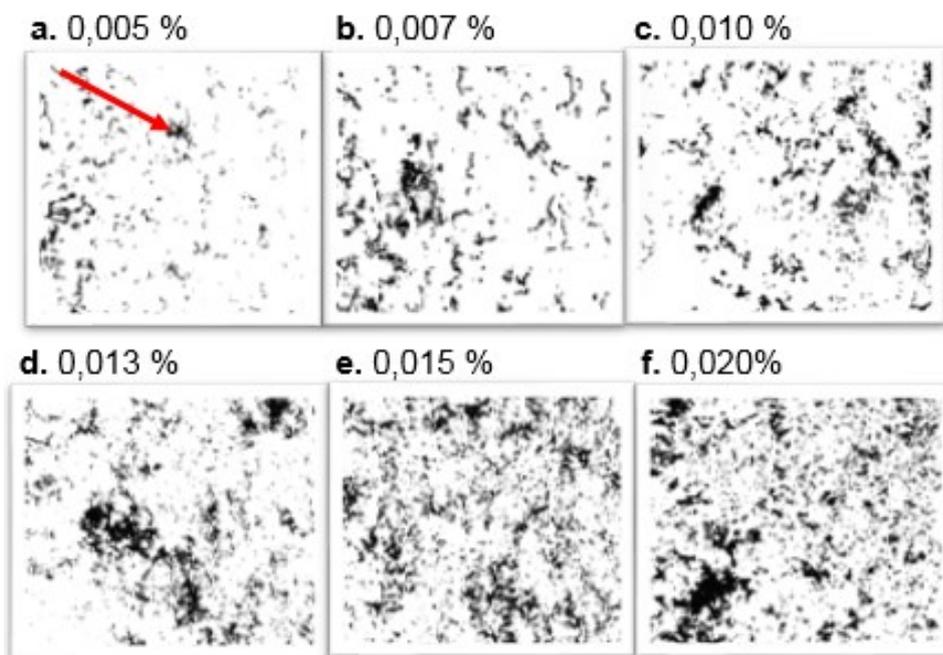
Para a utilização do compósito em botões, as características citadas anteriormente não influenciam na sua utilização em botões no vestuário. No caso do compósito de mamona, a cor amarelada é particularidade da própria resina por ser de origem natural e a dispersão não homogênea torna os botões únicos.

4.1.7 Software Image J

Para a análise de imagem foi utilizado o *software* Image J, que foi uma importante ferramenta no tratamento das imagens e na sua análise qualitativa. Para isso, as imagens dos compósitos foram tratadas no *software* em escala de cor preto.

A Figura 45 apresentam os compósitos com diferentes concentrações de fibras de algodão com resina de poliéster.

Figura 45 – Análise Image J do compósito de resina de poliéster com fibra de algodão

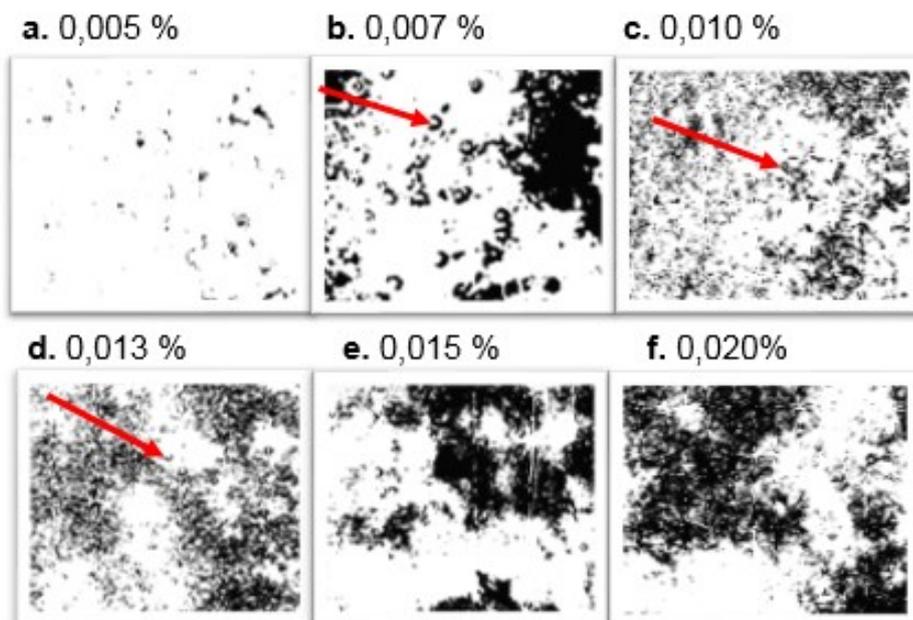


Fonte: Autora, 2023

De acordo com os resultados obtidos a partir do *software* Image J, a Figura 45 (a) apresentou um ponto de não homogeneidade da fibra com a resina, o que aumentou substancialmente para as outras composições de mistura de substrato têxtil.

A Figura 46 apresenta os compósitos com diferentes concentrações da resina de mamona com substrato têxtil.

Figura 46 – Análise Image J do compósito de resina de mamona com fibra de algodão



Fonte: Autora, 2023

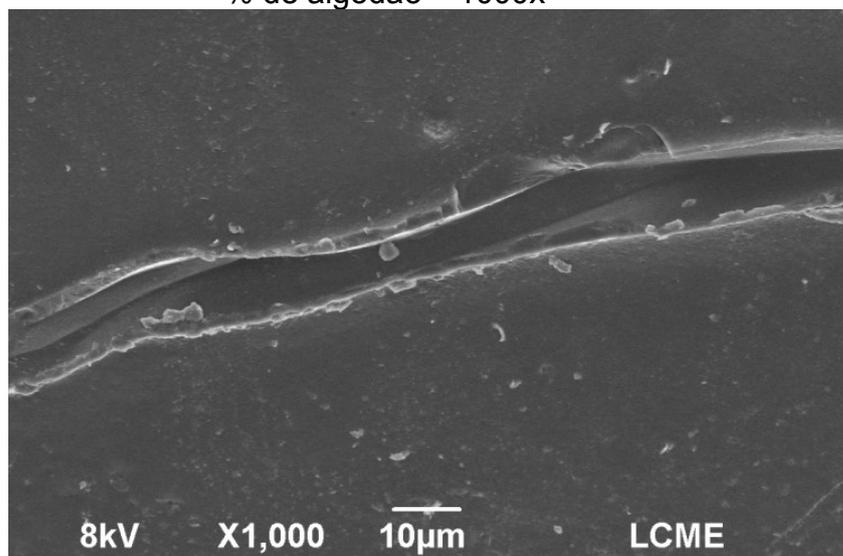
Conforme a imagem obtida, a Figura 45 (a) observa-se pequenos pontos de não homogeneidade da mistura, assim como na Figura 46 (b), que além da homogeneidade ser mais difícil de ser obtida, apresentou bolhas em toda a superfície. Já para a Figura 46 (c) e (d), os pontos de bolhas foram mais acentuados e menores. Na Figura 46 (e) e (f) é mais evidenciado a não homogeneidade da fibra.

De acordo com a análise obtida pelo *software* Image J, pode-se notar que na Figura 45 (a) houve mais pontos de não homogeneidade em comparação com a Figura 46 (a). Porém, a Figura 45 (f) não apresentou tanta aglomeração de pontos de não homogeneidade quanto na Figura 46 (f). Isso indica que à medida que é acrescentado substrato têxtil no compósito de poliéster, a tendência é a de apresentar aspecto mais homogêneo em comparação com o compósito de mamona.

4.1.8 Microscopia eletrônica de varredura

As amostras de mamona e de poliéster foram analisadas quanto à sua morfologia. Para a análise foi utilizado amostras dos compósitos de 0,007%, devido ser uma proporção compatível com os aspectos visuais em termos de homogeneidade do compósito com as exigências de um botão. A Figura 47 apresenta as amostras de resina de poliéster com 0,007 % de algodão em sessão transversal.

Figura 47 – Micrografia eletrônica da interação entre a resina de poliéster com 0,007 % de algodão – 1000x

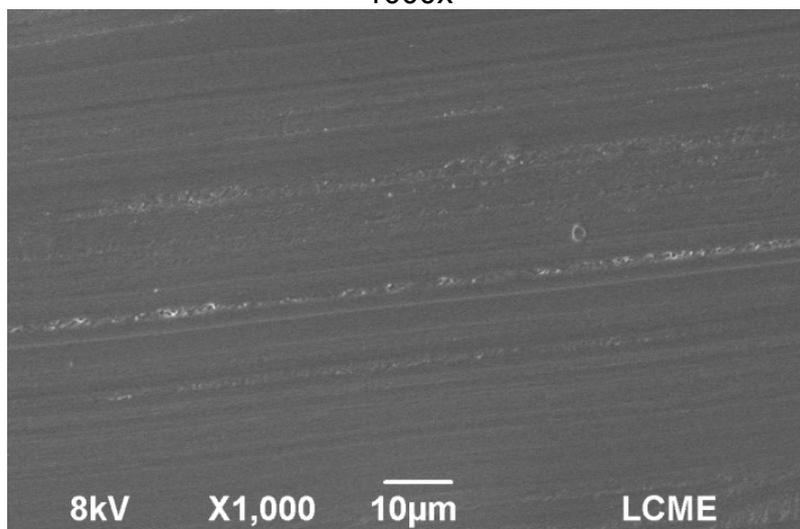


Fonte: Autora, 2023

A qualidade da adesão entre a fibra e a matriz polimérica é importante, já que, esta influência nas propriedades do compósito (SILVA, 2018). Houve adesão da fibra com a resina, já que foi utilizado algodão já beneficiado. Caso não fosse um algodão beneficiado, seria necessário o tratamento químico a fim de obter afinidade e interação da fibra com a resina. Isso é explicado pela fibra de algodão ser apolar e a resina polar.

A Figura 48 apresenta a amostra de resina de mamona com 0,007 % de algodão. Na micrografia do compósito pode-se observar a presença de bolhas, que é característica do compósito com poliuretano, que podem ser devido ao não recobrimento homogêneo das fibras quando adicionadas à matriz polimérica. As bolhas ocorreram em todas as amostras, sendo visíveis macroscopicamente. Para que não ocorra essas bolhas, alguns estudos indicam a manufatura do compósito pelo método a vácuo com o objetivo de liberar as partículas de água da resina vegetal.

Figura 48 – Micrografia eletrônica de resina de mamona com 0,007 % de algodão – 1000x



Fonte: Autora, 2023

A escolha para a realização do MEV na proporção mássica de 0,007% de substrato têxtil ocorreu por ter apresentado mais homogeneidade e, esteticamente, ser o mais adequado para o uso proposto, que consiste na manufatura de botões.

4.1.9 Análise de costurabilidade do botão

A Figura 49 apresenta a o processo de costurabilidade do botão produzido.

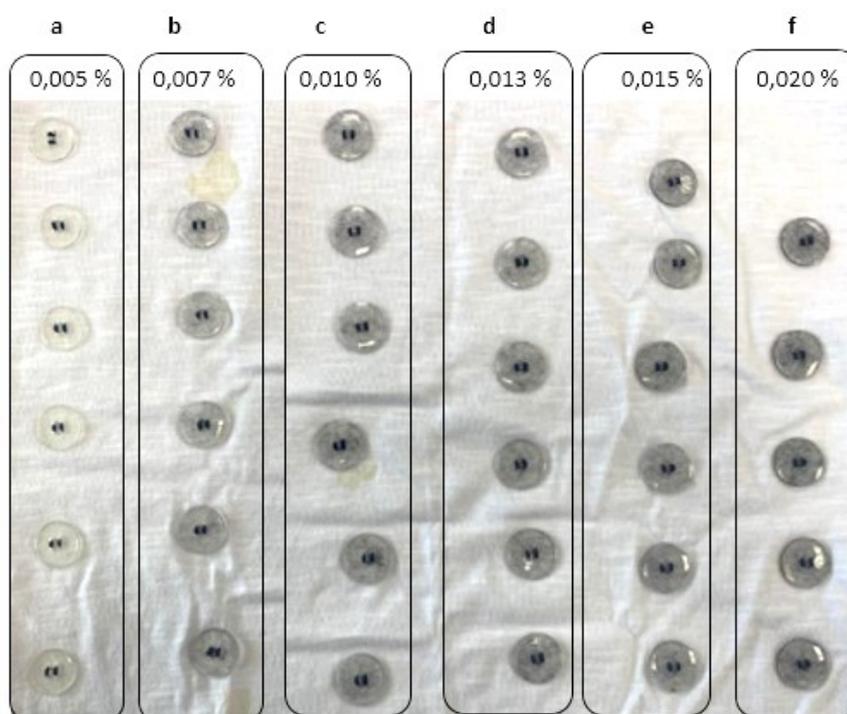
Figura 49 – Processo de costurabilidade



Fonte: Autora, 2023

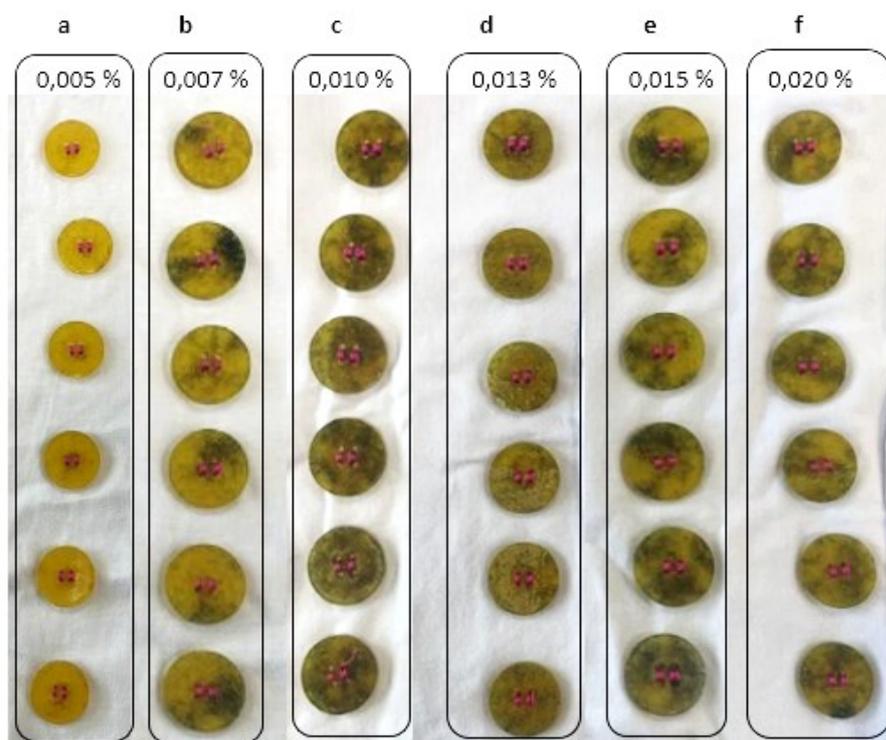
De acordo com o teste realizado em diferentes concentrações do compósito, não houve dificuldade de costurabilidade ou quebra da agulha da máquina ou qualquer outro aferimento, como quebra de botão. Logo, isso indica que tanto para os botões de poliéster (Figura 50) quanto para os botões de mamona (Figura 51), ocorreu uma boa costurabilidade e para ambas as resinas é possível a utilização do compósito para a manufatura do botão.

Figura 50 – Análise de costurabilidade do botão de resina de poliéster com fibra de algodão



Fonte: Autora, 2023

Figura 51 – Análise de costurabilidade do botão de resina de mamona com fibra de algodão



Fonte: Autora, 2023

Durante o processo de produção de botões não ocorreu nenhum problema durante sua manufatura.

Para o botão de poliéster, o primeiro processo de acabamento é na máquina de funilagem, onde é realizado o furo de cada botão individualmente e o lixamento da borda. Para o botão de mamona não ocorre o processo de funilagem, por conta da sua estrutura química, ou seja, a resina não é indicada para esse tipo de processo por não ter tanta rigidez e dureza quanto a de poliéster.

No acabamento chamado de "textura", o botão de poliéster apresentou maior brilho em relação ao botão de mamona, mesmo ambos terem sido processados pelo mesmo método e tempo de acabamento. O aspecto de brilho não interfere na utilização dos botões, apenas influencia em questões estéticas. É válido salientar que os botões de mamona não apresentam aparência similar, uma vez que a dispersão das fibras não ocorre de maneira homogênea. Conseqüentemente nenhum botão será exatamente idêntico ao outro. Esse quesito pode ser aceito no uso do vestuário principalmente em coleções específicas, como é o caso de coleções com apelo sustentável e biodegradável.

5. CONCLUSÕES

Neste trabalho compósitos produzidos a partir de fibras de algodão provenientes de resíduo da felpadeira com resina de poliéster e de poliuretano derivado do óleo de mamona foram investigados em relação a diferentes proporções.

No ensaio de tração, os compósitos produzidos a partir de resina mamona apresentaram comportamento mais dúctil em comparação aos compósitos de poliéster. O compósito de poliéster apresentou aumento da sua resistência a tração à medida que foi acrescida a proporção de substrato têxtil, ao contrário do que ocorreu com o compósito de mamona. Para o ensaio de dureza, quanto maior a proporção de fibras no compósito de poliéster maior também a sua dureza; já no compósito de resina de mamona medida que foi aumentado os percentuais de substrato têxtil menor era a dureza *shore*.

Na análise termogravimétrica, a adição de substrato têxtil no compósito de poliéster aumenta sua estabilidade térmica em comparação com a resina pura. Porém, a resina de mamona é mais estável que a resina de poliéster.

A análise macroscópica evidenciou homogeneidade nos compósitos produzidos a partir de resina de poliéster, entretanto, os compósitos de mamona apresentaram bolhas visíveis e acúmulo de fibras sobre sua superfície, evidenciados pelo uso do *software* Image J.

Na análise de costurabilidade dos botões produzidos não ocorreu dificuldades em ambos os compósitos com as diferentes concentrações de fibra, o que torna o compósito viável para a aplicação de botões.

Por fim, de acordo com as análises realizadas é possível concluir que é possível a manufatura de botões a partir de compósitos utilizando tanto a resina de poliéster quanto a resina de mamona em até 0,20% de substrato têxtil proveniente do processo de felpagem. A utilização de um resíduo do processo produtivo têxtil é uma alternativa próspera de sustentabilidade no desenvolvimento de novos produtos.

6.SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

De acordo com os resultados obtidos a sugestão para trabalhos futuros consiste na avaliação das condições internas da manufatura do compósito como temperatura e umidade, para verificar se há alteração do material resultante.

REFERÊNCIAS

ABIT. **Perfil do Setor**. Disponível em: <https://www.abit.org.br/cont/perfil-do-setor>. Acesso em: 24 nov. 2022.

ABDUL KARIM DERBAS, RACHA. **Effective utilization of textile waste**. 2022. Dissertação de Mestrado. Universitat Politècnica de Catalunya.

ABRAPA. Associação Brasileira Dos Produtores De Algodão. Algodão no mundo. Disponível em: <https://www.abrapa.com.br/Paginas/dados/algodao-no-mundo.aspx>. Acesso em 15 agosto de 2022.

ABRAPA. **Algodão no Brasil**. Disponível em: <https://www.abrapa.com.br/Paginas/Dados/Algod%C3%A3o%20no%20Brasil.aspx>. Acesso em: 24 out. 2022.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Determinação da dureza Shore**: NBR7456. São Paulo, 1992.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Determinação de umidade por secagem em estufa: NBR 9656. São Paulo, 1986.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Resíduos sólidos - Classificação: NBR 10004. Rio de Janeiro, 2004.

ABREU JÚNIOR, ANTÔNIO LUIZ SALGADO DE; PIMENTEL, LUCAS DE SOUZA. Análise experimental do comportamento mecânico do polipropileno em ensaio de tração uniaxial. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal Fluminense, Volta Redonda-RJ, 2016.

ADENIYI, AG; ONIFADE, DV; IGHALO, JO; ADEOYE, AS Uma Revisão de Compósitos de Polímeros Reforçados com Fibra de Coco. Compos. Parte B Eng. 2019, 176, 107305.

ALBUQUERQUE, ANA CAROLINA DIAS *et al.* Minimização dos impactos ambientais causados pelos resíduos da indústria têxtil: Uma perspectiva prática. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 2, p. e27910212215-e27910212215, 2021.

ALTALHI, TARIQ A. *et al.* (Ed.). **Handbook of bioplastics and biocomposites engineering applications**. John Wiley & Sons, 2022.

ALLWOOD, JULIAN M *et al.* Material efficiency: A white paper. **Resources, conservation and recycling**, v. 55, n. 3, p. 362-381, 2011.

AHMAD, HIBAL; RODRIGUE, DENIS. Crosslinked polyethylene: A review on the crosslinking techniques, manufacturing methods, applications, and recycling. **Polymer Engineering & Science**, v. 62, n. 8, p. 2376-2401, 2022.

AHMAD, MOHAMMAD HANIFF *et al.* **Thermal process of castor and plant based oil**. Indonesian Journal of Chemistry, v. 20, n. 1, p. 237-247, 2020.

AKINYEMI, BANJO A.; ADESINA, ADEYEMI. Utilization of polymer chemical admixtures for surface treatment and modification of cellulose fibres in cement-based composites: a review. **Cellulose**, v. 28, n. 3, p. 1241-1266, 2021.

ALSUBARI, S. *et al.* Potential of natural fiber reinforced polymer composites in sandwich structures: A review on its mechanical properties. **Polymers**, v. 13, n. 3, p. 423, 2021.

ALVES, William Ferreira. Preparação e caracterização mecânica, térmica e elétrica de misturas de poliuretano derivado do óleo de mamona e poli (o-metoxianilina) para avaliação na aplicação como sensores para língua eletrônica. 2010.

AMORIM, FERNANDA *et al.* Development of hydrophobic polyurethane/castor oil biocomposites with agroindustrial residues for sorption of oils and organic solvents. **Journal of Colloid and Interface Science**, v. 581, p. 442-454, 2021.

AMULYA, K.; KATAKOJWALA, RANAPRATHAP; RAMAKRISHNA, SEERAM; MOHAN, S. VENKATA. Low carbon biodegradable polymer matrices for sustainable future. **Elsevier**, p. 2666-6820. mar. 2021.

ANDENA, LUCA; CHIAROT, GIULIA. Scratch hardness as a quasi-intrinsic parameter to measure the scratch resistance of polymers. **Wear**, p. 204562, 2022.

ARAÚJO, RODRIGO *et al.* **Investigation of the Tensile and Bending Properties of a Biomaterial Composed of Agave Fibers and Castor Resin**. Materials Proceedings, v. 8, n. 1, p. 118, 2022.

ARAÚJO, M. **Tecnologia do Vestuário**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian. 1996.

ASUNCION, MICHAEL Z.; KRUG, DAVID J. Testing and Characterization for Composites. In: **Composites Innovation**. CRC Press, 2021. p. 47-67.

AZEVEDO, JOYCE BATISTA *et al.* **Caracterização de compósitos obtidos a partir de polímero biodegradável e casca de arroz utilizando duas técnicas de processamento**. *Matéria* (Rio de Janeiro), v. 21, p. 391-406, 2016.

AYDOĞMUŞ, ERCAN *et al.* Synthesis and characterization of EPS reinforced modified castor oil-based epoxy biocomposite. **Journal of Building Engineering**, v. 47, p. 103897, 2022

AZWA, Z. N. *et al.* A review on the degradability of polymeric composites based on natural fibres. **Materials & Design**, v. 47, p. 424-442, 2013.

BAJPAI PK, SINGH I. Comportamento de perfuração de laminados compostos de polipropileno reforçados com fibra de sisal. *J Reinf Plast Compos* 2013; 32: 1569–1576

BAPTISTA, ALA; AMARAL, C. C.; RIBEIRO, M. V. Estudo comparativo da obtenção de biodiesel a partir de óleo de mamona em laboratório e no simulador de processos químicos dwsim. In: **Congresso Brasileiro de Engenharia Química em iniciação científica**. 2019. p. 1-6.

BARCELLOS, IVONETE O. *et al.* Compósitos poliméricos e o meio ambiente: um estudo sobre cargas alternativas e compósitos de polipropileno no século XXI no Brasil. **Brazilian Journal of Development**, v. 8, n. 4, p. 29399-29421, 2022.

BECK, BH; YILDIRIM-AKSOY, M.; SAPATEIRO, CA; FULLER, SA; PEATMAN, E. Atividade antimicrobiana do biopolímero quitosana contra *Streptococcus Iniae*. *J. Fish Dis*. 2019, 42 , 371–377.

BELTRAMI, LÍLIAN VR *et al.* Biodegradable composites: Morphological, chemical, thermal, and mechanical properties of composites of poly (hydroxybutyrate-co-hydroxyvalerate) with curaua fibers after exposure to simulated soil. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 131, n. 17, 2014.

BERTOLA, PAOLA; TEUNISSEN, JOSE. Fashion 4.0. Innovating fashion industry through digital transformation. **Research Journal of Textile and Apparel**, 2018.

BISPO, RODRIGO ANDRAUS *et al.* Production and evaluation of particleboards made of coconut fibers, pine, and eucalyptus using bicomponent polyurethane-castor oil resin. **BioResources**, v. 17, n. 3, p. 3944, 2022.

BISMARCK, ALEXANDER; MISHRA, SUPRIYA; LAMPKE, THOMAS. Plant fibers as reinforcement for green composites. In: **Natural fibers, biopolymers, and biocomposites**. CRC Press, 2005. p. 52-128.

BHATIA, DINESH *et al.* Recycled fibers: an overview. **International Journal of Fiber and Textile Research**, v. 4, n. 4, p. 77-82, 2014.

BOEY, JET YIN; LEE, CHEE KEONG; TAY, GUAN SENG. Factors affecting the mechanical properties of reinforced bioplastics: a review. **Polymers**, v. 14, no. 18, pg. 3737, 2022.

BORSOI, CLEIDE *et al.* Obtenção e caracterização de compósitos utilizando poliestireno como matriz e resíduos de fibras de algodão da indústria têxtil como reforço. **Polímeros**, v. 21, p. 271-279, 2011.

BOTÕES, Cia dos. **Tabela de Tamanhos**. Disponível em: <https://www.ciadosbotoes.com.br/tabela-de-tamanhos/>. Acesso em: 26 nov. 2022.

BRANCO, Nély Thatiane *et al.* Estudo do comportamento em tração de compósitos de matriz poliéster reforçados com fibras de envira (*Bocageopsis multiflora*). 2022.

BRASIL, POLINOX do. **BRASNOX® DM50**. Disponível em: http://www.polinox.com.br/english/boletins/02_brasnox_dm50_boletim_tecnico_rev04.pdf. Acesso em: 28 out. 2022.

BRAGA, RONEY AMARANTE. **Análise da utilização de fibras naturais aglutinadas com resina epóxi, para fabricação de uma cobertura central do porta-malas de um automóvel de passageiros**. 2010. Tese de Doutorado. Tese de Mestrado em Engenharia Mecânica. Universidade Católica de Porto Alegre, Belo Horizonte.

BRASIL, POLINOX DO. **BRASNOX® DM50**. 2022. Disponível em: http://www.polinox.com.br/english/boletins/02_brasnox_dm50_boletim_tecnico_rev04.pdf. Acesso em: 16 nov. 2022.

BRIEDE, SABINE *et al.* Acrylation of biomass: a review of synthesis process—know how and future application directions. **Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry**, p. 100626, 2022.

CALLISTER, WILLIAM. *Materials Science and Engineering: An Introduction*. Gen-LTC Group, 2007.

CALLISTER WD (2002) *Ciência e engenharia de materiais: uma introdução*. LTC, Rio Janeiro

CAMARGO, MARFA MOLANO *et al.* A review on natural fiber-reinforced geopolymer and cement-based composites. **Materials**, v. 13, n. 20, p. 4603, 2020.

CAO, XIA; LEE, L. JAMES. Control of shrinkage and residual styrene of unsaturated polyester resins cured at low temperatures: I. Effect of curing agents. **Polymer**, v. 44, n. 6, p. 1893-1902, 2003.

CARVALHO, L. H.; MORAES, G. S.; D'ALMEIDA, J. R. M. Influence of water absorption and pre-drying conditions on the tensile mechanical properties of hybrid lignocellulosic fiber/polyester composites. **Journal of reinforced plastics and composites**, v. 28, n. 16, p. 1921-1932, 2009.

CASTRO, D. O. *et al.* Use of castor and canola oils in “biopolyethylene” curauá fiber composites. **Composites Part A: Applied Science and Manufacturing**, v. 95, p. 22-30, 2017.

CHAUHAN, VARDAN; KÄRKI, TIMO; VARIS, JUHA. **Review of natural fiber reinforced engineering plastic composites, their applications in the transportation sector and processing techniques**. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, v. 35, n. 8, p. 1169-1209, 2022.

CHAUKE, NTSAGO PORTIA; MUKAYA, HEMBE ELIE; NKAZI, DIAKANUA BAVON. Chemical modifications of castor oil: A review. **Science Progress**, v. 102, n. 3, p. 199-217, 2019.

CHARD, JONATHON M. *et al.* Shades of green: Life cycle assessment of a urethane methacrylate/unsaturated polyester resin system for composite materials. **Sustainability**, v. 11, n. 4, p. 1001, 2019.

CHEN, HUI *et al.* Additive manufactured high-strength tungsten composite with high deformability by using a novel CoCrNi medium-entropy binder. **Composites Part B: Engineering**, v. 246, p. 110256, 2022.

CHILD, REGINALD. Coconut shells as an industrial raw material: ii. Miscellaneous uses: fuel. **Current Science**, v. 13, n. 1, p. 4-6, 1944.

COELHO, Luiz Carlos Rezende. **ESTUDO DE MATRIZES POLIMÉRICAS EM MATERIAIS COMPÓSITOS AVANÇADOS**. 2017. 102 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade de Taubaté, Taubaté, 2017.

COHEN, C. Surface and Interface Studies with MeV Ion Beams. In: **Semiconductor Interfaces**. Springer, Berlin, Heidelberg, 1987. p. 134-149.

CONAB. **Companhia Nacional de Abastecimento**. Disponível em: <https://portaldeinformacoes.conab.gov.br/mapeamentos-agricolas.html>. Acesso em: 25 set. 2022.

COSTA, ROMEU RC *et al.* Polyurethane derived from castor oil reinforced with long cotton fibers: Static and dynamic testing of a novel eco-friendly composite material. **Journal of Composite Materials**, v. 54, n. 22, p. 3125-3142, 2020.

COSTA, ISABELLA LOUREIRO MULLER; MONTICELI, FRANCISCO MACIEL; MULINARI, DANIELLA R. Polyurethane foam reinforced with fibers pineapple crown biocomposites for sorption of vegetable oil. **Fibers and Polymers**, v. 21, n. 8, p. 1832-1840, 2020.

COSTA, MICHELLE L.; REZENDE, MIRABEL C.; PARDINI, LUIZ C. Study methods of the cure reaction kinetics of epoxy resins. **Polímeros**, v. 9, n. 2, p. 37-44, 1999.

COSTA, G.A.. Simulação do comportamento mecânico de matérias compósitos reforçados com fibra de algodão. In: congresso brasileiro de engenharia e ciência dos materiais, 22., 2016, Natal. **Anais [...]**. Natal: ., 20176. p. 3435-3446.

CWIEKA, KAROL *et al.* Supported plasmonic nanocatalysts for hydrogen production by wet and dry photoreforming of biomass and biogas derived compounds: recent progress and future perspectives. **ChemCatChem**, v. 13, n. 21, p. 4458-4496, 2021.

DA COSTA, Romeu RC *et al.* Polyurethane derived from castor oil reinforced with long cotton fibers: Static and dynamic testing of a novel eco-friendly composite material. **Journal of Composite Materials**, v. 54, n. 22, p. 3125-3142, 2020.

DIAS, F.M., LAHR, F.A.R., “Estimating strength and stiffness properties of wood through apparent density”, **Scientia Forestalis**, v. 65, pp. 102–113, 2004.

DING, RENZHONG. Economic growth: the theoretical debate on resources, the environment and growth limits and the choices faced by human beings. **China Political Economy**, 2021.

DHANUSKAR, SAGAR; NAIK, S. N.; PANT, K. K. Castor Oil-Based Derivatives as a Raw Material for the Chemical Industry. In: **Catalysis for Clean Energy and Environmental Sustainability**. Springer, Cham, 2021. p. 209-235.

DOTAN, ANA. Biobased thermosets. In: **Handbook of thermoset plastics**. William Andrew Publishing, 2014. p. 577-622.

DRZAL, L.; MOHANTY, A.; MISRA, M. Materiais Biocompósitos como Alternativas aos Compósitos à Base de Petróleo para Aplicações Automotivas. *Magnésio 2001* , 40 , 1–3. [Google Acadêmico]

DZWIGOL, HENRYK; TRUSHKINA, NATALIIA; KWILINSKI, D ALEKSY. The organizational and economic mechanism of implementing the concept of green logistics. **Virtual Economics**, v. 4, n. 2, p. 41-75, abr. 2021.

EDWARDS, NINA. **On the button: the significance of an ordinary item**. Bloomsbury Publishing, 2011.

EGALA, RAJESH; JAGADEESH, G. V.; SETTI, SRINIVASU GANGI. Experimental investigation and prediction of tribological behavior of unidirectional short castor oil fiber reinforced epoxy composites. **Friction**, v. 9, n. 2, p. 250-272, 2021.

EL-SHEKEIL YA, SAPUAN SM, ALGRAFI MW. Effect of fiber loading on mechanical and morphological properties of cocoa pod husk fibers reinforced thermoplastic polyurethane composites. **Mater Design** 64:330–333, 2014.

ERDEN, SEÇKIN; HO, KINGSLEY. Fiber reinforced composites. In: **Fiber Technology for Fiber-Reinforced Composites**. Woodhead Publishing, 2017. p. 51-79.

ESCOBAR, JOSE C. *et al.* Biofuels: environment, technology and food security. **Renewable and sustainable energy reviews**, v. 13, n. 6-7, p. 1275-1287, 2009.

FARIA, DOUGLAS LAMOUNIER *et al.* Production of castor oil-based polyurethane resin composites reinforced with coconut husk fibres. **Journal of Polymer Research**, v. 27, n. 9, p. 1-13, 2020.

FARUK, O., BLEDZKI, A. K., FINK, H. P., SAIN, M., "Biocomposites reinforced with natural fibers: 2000-2010", **Progress in Polymer Science**, n. 37, pp. 1552-1596, 2012

FARUK, O. *et al.* Progress report on natural fiber reinforced composites. **Macromolecular Materials and Engineering**, v. 299, n. 1, p. 9–26, 2014.

FELGUEIRAS, CATARINA; AZOIA, NUNO G.; GONÇALVES, CIDÁLIA; GAMA, MIGUEL; DOURADO, FERNANDO. Trends on the Cellulose-Based Textiles: raw materials and technologies. **Frontiers In Bioengineering And Biotechnology**, p. 1-20. Mar. 2021.

FIORELLI, JULIANO *et al.* Particulate composite based on coconut fiber and castor oil polyurethane adhesive: An eco-efficient product. **Industrial Crops and Products**, v. 40, p. 69-75, 2012.

FOGAÇA, Alvaro José Rinaldi; LIMA, Dennis Akio Kato de. **Caracterização de compósito fibra de Curauá/poliuretano derivado de óleo de mamona sem agentes de acoplamento**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

FORMELA, KRZYSZTOF; KURAŃSKA, MARIA; BARCZEWSKI, MATEUSZ. Recent advances in development of waste-based polymer materials: A review. **Polymers**, v. 14, n. 5, p. 1050, 2022.

GARCIA, AMAURI.; ALVARES SPIM, JAIME. **Ensaio dos materiais (2a. ed.)**. [s.l.] Grupo Gen - LTC, 2000.

GARZÓN, N. *et al.* Application of Methodologies for Durability Evaluation of Sugar Cane Bagasse Particle Boards, 2013. In. **International Conference On Non-Conventional Materials and Technologies**, 14. João Pessoa, 2013. Anais.

GALVÁN-CAMACHO, LUIS ARMANDO *et al.* Assessment of Salicylic Acid in Castor Oil Content Increase in Emissions of Its Biodiesel Blends. *Energies*, v. 15, n. 24, p. 9463, 2022.

GEDIF, BIRUK; ATALIE, DESALEGN. Recycling of 100% Cotton Fabric Waste to Produce Unsaturated Polyester-Based Composite for False Ceiling Board Application. *International Journal of Polymer Science*, v. 2022, 2022.

GEORGE, MAJO *et al.* Lean Manufacturing Case Studies from Fashion and Textile Industries. In: **Lean Supply Chain Management in Fashion and Textile Industry**. Springer, Singapore, 2022. p. 269-290.

GLÓRIA, Gabriel Oliveira *et al.* Tensile strength of polyester composites reinforced with PALF. *Journal of Materials Research and Technology*, v. 6, n. 4, p. 401-405, 2017.

GOUD, VIJAY; ALAGIRUSAMY, R.; DAS, APURBA. TOWPREG Manufacturing Techniques. In: **Flexible Towpregs and Their Thermoplastic Composites**. CRC Press, 2022. p. 33-58.

GRYCZAK, MARCELO; BERNADIN, ADRIANO MICHAEL. Development and characterization of sustainable agglomerated composites formulated from castor polyurethane resin and reinforced with rice husk. **Clean Technologies And Environmental Policy**. Porto Alegre, p. 1655-1662. out. 2021.

GUANCHA-CHALAPUD, MARCELO A. *et al.* Valorization of Colombian fique (*Furcraea bedinghausii*) for production of cellulose nanofibers and its application in hydrogels. **Scientific Reports**, v. 10, n. 1, p. 1-10, 2020.

GUO, ZHANHU *et al.* Surface functionalized alumina nanoparticle filled polymeric nanocomposites with enhanced mechanical properties. **Journal of Materials Chemistry**, v. 16, n. 27, p. 2800-2808, 2006.

GUPTA, HIMANSHU; KUMAR, ASHWANI; WASAN, PRATIBHA. Industry 4.0, cleaner production and circular economy: An integrative framework for evaluating ethical and sustainable business performance of manufacturing organizations. **Journal of Cleaner Production**, v. 295, p. 126253, 2021.

GÜRLEK, MERT; KOSEOGLU, MEHMET ALI. Green innovation research in the field of hospitality and tourism: The construct, antecedents, consequences, and future outlook. **The Service Industries Journal**, v. 41, n. 11-12, p. 734-766, 2021.

HALL, WAYNE; JAVANBAKHT, ZIA. Design and manufacture of fibre-reinforced composites. Cham, Switzerland: **Springer International Publishing**, 2021.

HERZMANN, TIAGO VINÍCIUS *et al.* Produção e determinação de propriedades mecânicas de compósitos reforçados com fibras de sisal. 2022.

HESSE, RAYNER W. JEWELRYMAKING. **Through History: An Encyclopedia**. Greenwood Publishing Group. 35. ISBN 0-313-33507-9, 2007.

HOFMANN, MATEUS *et al.* Development of high-performance partially biobased thermoset polyester using renewable building blocks from isosorbide, 1, 3-propanediol, and fumaric acid. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 139, n. 42, p. e53029, 2022.

HSISSOU, R., SEGHIRI, R., BENZEKRI, Z., HILALI, M., RAFIK, M., & ELHARFI, A. Polymer composite materials: A comprehensive review. **Composite structures**, 262, 2021.

HUANG, JIJIANG *et al.* Chemical recycling of plastic waste for sustainable material management: A prospective review on catalysts and processes. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 154, p. 111866, 2022.

HUYNH, Phuc Hong. Enabling circular business models in the fashion industry: The role of digital innovation. **International Journal of Productivity and Performance Management**, 2021.

IMPERVEG. **RP 1315 C**. Disponível em: <https://keb-revestimentosnaturais.com.br/wp-content/uploads/2014/11/ficha-tecnica-imperveg-rp-1315-c1.pdf>. Acesso em: 28 out. 2022.

ISLAM, JAHID *et al.* The life and durability issues of natural textiles and clothing. In: **Fundamentals of Natural Fibres and Textiles**. Woodhead Publishing, 2021. p. 657-690.

JAGADEESH, PRAVEENKUMARA, *et al.* A review on extraction, chemical treatment, characterization of natural fibers and its composites for potential applications. **Polymer Composites**, v. 42, n. 12, p. 6239-6264, 2021.

JANNAH, MIFTAKHUL *et al.* Effect of chemical surface modifications on the properties of woven banana-reinforced unsaturated polyester composites. **Journal of Reinforced Plastics and Composites**, v. 28, n. 12, p. 1519-1532, 2009, SM Intemperismo de polímeros. Editora iSmithers Rapra, 1992.

JANKOVIC, B. The kinetic analysis of isothermal curing reaction of an unsaturated polyester resin: Estimation of the density distribution function of the apparent activation energy. **Chemical Engineering Journal**, v. 162, p. 331-340, 2010.

JESUS, ANTHONY ROBERT GOMES DE. **A Natureza Cíclica e Traiçoeira da Sorte Humana**. 2018. 51 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Tecnologia em Design de Moda, – Centro de Educação Superior de Brasília, Brasília, 2018.

JIANG, LIJUAN; ZHOU, YINZHI; JIN, FENGNIAN. Design of short fiber-reinforced thermoplastic composites: A review. **Polymer Composites**, v. 43, n. 8, p. 4835-4847, 2022.

JOHN, MAYA JACOB; ANANDJIWALA, RAJESH D. Recent developments in chemical modification and characterization of natural fiber-reinforced composites. **Polymer composites**, v. 29, n. 2, p. 187-207, 2008.

JOSEPH K, MEDEIROS ES, CARVALHO LH. Tensile properties of unsaturated polyester composites reinforced by short sisal fibers. **Polymers** 9:136–141, 1999.

JUNG, HYE JUNG; OH, KYUNG WHA; KIM, HAEJUNG MARIA. Country Differences in Determinants of Behavioral Intention towards Sustainable Apparel Products. **Sustentability**, [s. l], v. 13, n. 558, p. 1-23, jan. 2021.

KALLA, DEVI K. *et al.* **Sustainability of fiber reinforced composites: status and vision for future**. In ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition. 2011. p. 167-173.

KAMBLE, ZUNJARRAO; BEHERA, BIJOYA KUMAR. Mechanical properties and water absorption characteristics of composites reinforced with cotton fibres recovered from textile waste. **Journal of Engineered Fibers and Fabrics**, v. 15, p. 1558925020901530, 2020.

KAMBLE, K. AND B. BEHERA, K. "Sustainable hybrid composites reinforced with textile waste for construction and building applications," **Construction and Building Materials**, vol. 284, article 122800, 2021.

KARIMAH, AZIZATUL *et al.* A review on natural fibers for development of eco-friendly bio-composite: Characteristics, and utilizations. **Journal of Materials Research and Technology**, v. 13, p. 2442-2458, 2021.

KAUR, RAMINDER *et al.* Assessment of bio-based polyurethanes: Perspective on applications and bio-degradation. **Macromol**, v. 2, n. 3, p. 284-314, 2022.

KNOP, ANDRE; PILATO, LOUIS A. **Phenolic resins: chemistry, applications and performance**. Springer Science & Business Media, 2013.

KONCAR, VLADAN. **Smart Textiles for In Situ Monitoring of Composites**. Woodhead Publishing, 2018.

KUNAVER, MATJAŽ *et al.* Liquefaction of wood, synthesis and characterization of liquefied wood polyester derivatives. **Journal of applied polymer science**, v. 115, n. 3, p. 1265-1271, 2010.

KUPPUSAMY, RAGHU RAJA PANDIYAN; ROUT, SATYAJIT; KUMAR, Kaushik. Advanced manufacturing techniques for composite structures used in aerospace industries. In: **Modern Manufacturing Processes**. Woodhead Publishing, 2020. p. 3-12.

LAMBERT, SCOTT; WAGNER, MARTIN. Environmental performance of bio-based and biodegradable plastics: the road ahead. **Chemical Society Reviews**, v. 46, n. 22, p. 6855-6871, 2017.

LA SCALA, JOHN J. *et al.* Fatty acid-based monomers as styrene replacements for liquid molding resins. **Polymer**, v. 45, n. 22, p. 7729-7737, 2004.

LEITE, JANAINA LISI *et al.* **Processamento e caracterização de compósitos formados por resina fenólica e fibras de bagaço de cana como reforço**. 2002. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais.

LEVY NETO, FLAMÍNIO LEVY; PARDINI, LUIZ CLAUDIO. **Compósitos estruturais: ciência e tecnologia**. Editora Blucher, 2016.

LIU, JIE; LV, CHUN. Durability of Cellulosic-Fiber-Reinforced Geopolymers: A Review. **Molecules**, v. 27, n. 3, p. 796, 2022.

LIU, JINGKAI *et al.* Advances in sustainable thermosetting resins: From renewable feedstock to high performance and recyclability. **Progress in Polymer Science**, v. 113, p. 101353, 2021.

LODHI, M. S.; SEZEN, H. Estimation of monotonic behavior of reinforced concrete columns considering shear-flexure-axial load interaction. **Earthquake engineering & structural dynamics**, v. 41, n. 15, p. 2159-2175, 2012.

Lopes, F. P. D. (2011) Estudos adicionais dos compósitos poliméricos reforçados por fibras de curauá. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) - Campos dos Goytacazes - RJ, Universidade Estadual Norte Fluminense Darcy Ribeiro - UENF, 92p.

LOTFI, AMIRHOSSEIN. *et al.* Natural fiber reinforced composites: A review on material, fabrication and machinability. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, v. 34, no. 2, pg. 238-284, 2021.

LOKESH, P. *et al.* A study on mechanical properties of bamboo fiber reinforced polymer composite. **Materials Today: Proceedings**, v. 22, p. 897-903, 2020.

LOPES, MARIANA DIAS MACHADO *et al.* Natural based polyurethane matrix composites reinforced with bamboo fiber waste for use as oriented strand board. **Journal of Materials Research and Technology**, v. 12, p. 2317-2324, 2021.

LU, M. G.; SHIM, M. J.; KIM, S. W. Curing behavior of an unsaturated polyester system analyzed by Avrami equation. **Thermochimica Acta**, v. 323, n. 1-2, p. 37-42, 1998.

MAEBARA, LARISSA; VALLE, RITA DE CASSIA SIQUEIRA CURTO; CORREIA, JEFERSON; VALLE, JOSE ALEXANDRE BORGES. **Obtenção e caracterização de absorvente a partir de pirólise dos resíduos do processo de felpagem da indústria têxtil**. *Revista Química Têxtil: Associação brasileira de químicos e colorista têxteis*, [s. l], v. 145, p. 36-43, out. 2022.

MAESTRI, GABRIELA; OLIVEIRA, FERNANDO RIBEIRO; STEFFENS, FERNANDA. Análise da Indústria 4.0 no segmento têxtil: a importância do investimento digital no

setor. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 2018, Ponta Grossa. **Anais [...]**. Ponta Grossa: APREPRO, 2018. p. 130-141.

MANICKAM, PARTHIBAN; DURAISAMY, GOPALAKRISHNAN. 3Rs and circular economy. **Elsevier**, Coimbatore, p. 77-93, maio 2019.

MARCEL, SARAH ELIZABETH. **Buttoning down the past: a look at buttons as indicators of chronology and material culture**. 1994.

MARINHO, NELSON P. *et al.* Physical and thermal characterization of polyurethane composite derived from castor oil associated with bamboo particles. **Polymers: Science and Technology**, v. 23, no. 2, p. 201-205, 2013

MARINUCCI, GERSON. **Materiais compósitos poliméricos: fundamentos e tecnologia**. São Paulo: **Artliber**, v. 1, 2011.

MARKET, Arkets And. Biocomposites Industry Size. Disponível em: https://www.marketsandmarkets.com/PressReleases/biocomposite.asp?gclid=CjwKCAiA76-dBhByEiwAA0_s9Wk92GLrpHvr9EGzIYrN1qE2pjfi_WB2XPZ5aBPwtw9R5CE_T4BkYRoCZo4QAvD_BwE. Acesso em: 28 dez. 2022.

MARQUESONE, ROSANGELA DE FÁTIMA PEREIRA; CARVALHO, D TEREZA CRISTINA MELO DE BRITO. Examining the Nexus between the Vs of Big Data and the Sustainable Challenges in the Textile Industry. **Sustainability**. São Paulo, p. 1-17. abr. 2022.

MCEACHERN, M. G.; MIDDLETON, DEBORAH; CASSIDY, TRACY. **Encouraging sustainable behaviour change via a social practice approach: A focus on apparel consumption practices**. *Journal of Consumer Policy*, v. 43, n. 2, p. 397-418, 2020.

MELO, BRENO N.; PASA, VÂNIA MD. Composites based on eucalyptus tar pitch/castor oil polyurethane and short sisal fibers. **Journal of applied polymer science**, v. 89, n. 14, p. 3797-3802, 2003.

MELOUKI, AZZEDINE *et al.* Preparation of new copolymer (polystyrene/TMSPM grafted on DDA-fractionated algerian montmorillonite) hybrid organoclay by radical copolymerization: structural study, thermal stability and hydrophobicity area. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, v. 147, n. 10, p. 5637-5648, 2022.

MENEZES, PATRICER LUBUMBA. **Desenvolvimento e caracterização de um compósito polimérico reforçado com resíduos têxteis de tecido de Juta e malha de poliéster**. 2018. Dissertação de Mestrado. Brasil.

MERLINI, Claudia; SOLDI, Valdir; BARRA, Guilherme MO. Influence of fiber surface treatment and length on physico-chemical properties of short random banana fiber-reinforced castor oil polyurethane composites. **Polymer Testing**, v. 30, n. 8, p. 833-840, 2011.

MILÉO, Patrícia Câmara; ROCHA, George Jackson de Moraes; GONÇALVES, Adilson Roberto. Sugarcane straw reinforced castor oil polyurethane composites: fiber characterization and analysis of composite properties. *Journal of Natural Fibers*, v. 14, n. 4, p. 498-509, 2017.

MOHAMMED, AZAD; ABDULLAH, AVIN. Scanning electron microscopy (sem): A review. In: **Proceedings of the 2018 International Conference on Hydraulics and Pneumatics—HERVEX, Baile Govora, Romania**. 2018. p. 7-9.

MOHANAVEL, V. *et al.* Experimental investigations on mechanical properties of cotton/hemp fiber reinforced epoxy resin hybrid composites. In: **Journal of Physics: Conference Series**. IOP Publishing, 2021. p. 012015.

MOHANTY, AMAR K. *et al.* Composites from renewable and sustainable resources: Challenges and innovations. **Science**, v. 362, n. 6414, p. 536-542, 2018.

MOHANTY AK, MISRA M E DRZAL LT. **Fibras naturais, biopolímeros e biocompósitos**. Boca Raton, Flórida: CRC Press, 2005

MONTANES, NESTOR *et al.* Processing and characterization of environmentally friendly composites from biobased polyethylene and natural fillers from thyme herbs. **Journal of Polymers and the Environment**, v. 26, n. 3, p. 1218-1230, 2018

MORTAZAVIAN, SEYYEDVAHID; FATEMI, ALI. Effects of fiber orientation and anisotropy on tensile strength and elastic modulus of short fiber reinforced polymer composites. **Composites part B: engineering**, v. 72, p. 116-129, 2015.

MONTEIRO, SERGIO N. *et al.* Tenacidade ao entalhe por impacto charpy de compósitos de poliéster reforçados com fibras de piaçava. **Matéria** (Rio de Janeiro), v. 11, p. 204-210, 2006.

MOSHOOD, TAOFEEQ D. *et al.* Expanding policy for biodegradable plastic products and market dynamics of bio-based plastics: challenges and opportunities. **Sustainability**, v. 13, n. 11, p. 6170, 2021.

MUTHURAJ, R. *et al.* “Sustainable thermal insulation biocomposites from rice husk, wheat husk, wood fibers and textile waste fibers: elaboration and performances evaluation” **Industrial Crops and Products**, vol. 135, pp. 238–245, 2019

NAIK, SATYA N. *et al.* Potential and perspective of castor biorefinery. In: **Waste Biorefinery**. Elsevier, 2018. p. 623-656.

NETO, FLAMÍNIO LEVY; PARDINI, LUIZ CLAUDIO. **Compósitos estruturais: ciência e tecnologia**. Editora Blucher, 2016.

NIINIMÄKI, KIRSI *et al.* The environmental price of fast fashion. **Nature Reviews Earth & Environment**, v. 1, n. 4, p. 189-200, 2020.

NOURYON. **Ficha de Informação de Produto Químico**: brasnox dm-50. Brasnox DM-50. Disponível em: <https://www.nouryon.com/globalassets/inriver/resources/pds-brasnox-dm-50-thermoset-composites-glo-pt-br.pdf>. Acesso em: 16 nov. 2022.

OGUNNIYI, David S. Castor oil: a vital industrial raw material. **Bioresource technology**, v. 97, n. 9, p. 1086-1091, 2006.

OLIVEIRA, MARIANA LIMA DE. **Obtenção e caracterização de um compósito de matriz polimérica com carga de resíduos vegetal proveniente do sabugo de milho**. 2015. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

OLIVEIRA, TIARA GOMES DE *et al.* Cellulose fiber reinforced biodegradable films based on proteins extracted from castor bean (*Ricinus communis* L.) cake. **Industrial Crops and Products**, v. 67, p. 355-363, 2015.

OPREA, STEFAN; POTOLINCA, VIOLETA OTILIA; OPREA, VERONICA. Physical properties and the ability to disperse into different polar solvents of the new polyurethane–cellulose composites. **Journal of Elastomers & Plastics**, v. 52, n. 6, p. 548-572, 2020.

PACI, MAURIZIO *et al.* Structural characterization of unsaturated polyesters. **Die Makromolekulare Chemie**, v. 183, n. 2, p. 377-387, 1982.

PANWAR, N. L.; KAUSHIK, S. C.; KOTHARI, SURENDRA. Role of renewable energy sources in environmental protection: A review. **Renewable and sustainable energy reviews**, v. 15, n. 3, p. 1513-1524, 2011.).

PATTI, ANTONELLA; CICALA, GIANLUCA; ACIERNO, DOMENICO. Eco-Sustainability of the Textile Production: waste recovery and current recycling in the composites world. **Polymers**, [s. l], v. 13, n. 1, p. 1-25, 2021.

PARASKAR, PAVAN M. *et al.* Vegetable oil based polyurethane coatings—A sustainable approach: A review. **Progress in Organic Coatings**, v. 156, p. 106267, 2021.

PERVAIZ, Salman *et al.* 3D printing of fiber-reinforced plastic composites using fused deposition modeling: A status review. **Materials**, v. 14, n. 16, p. 4520, 2021.

PETROVIĆ, Zoran S. *et al.* Polyester polyols and polyurethanes from ricinoleic acid. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 108, n. 2, p. 1184-1190, 2008.

PFISTER, DANIEL P.; XIA, YING; LAROCK, RICHARD C. Recent advances in vegetable oil-based polyurethanes. **ChemSusChem**, v. 4, n. 6, p. 703-717, 2011.

PINHO, E.; SOARES, GRAÇA. Functionalization of cotton cellulose for improved wound healing. **Journal of Materials Chemistry B**, v. 6, n. 13, p. 1887-1898, 2018.

POKHAREL, ANAMOL *et al.* Biobased Polymer Composites: A Review. **Journal of Composites Science**, v. 6, n. 9, p. 255, 2022.

PRIBERAM. Dicionário Priberam da Língua Portuguesa 2008-2013. Disponível em Acesso em < <https://dicionario.priberam.org/reciclagem>>: 29 set.2022.

PRIME, R. Bruce *et al.* Thermogravimetric analysis (TGA). **Thermal analysis of polymers: Fundamentals and applications**, p. 241-317, 2009.

PROCHOWNIK, NYBC S.. **Botões, saiba como usar!** Disponível em: <https://www.nybc.com.br/post/2016/03/16/bot%C3%B5es-saiba-como-usar>. Acesso em: 19 out. 2022.

RADTKE, Débora. Botão Madeira. Disponível em: <https://www.deboraradtke.com.br/produtos/botao-madeira-2-furos-tamanhos-a-escolher/>. Acesso em: 21 dez. 2022.

RANASINGHE, L.; JAYASOORIYA, V. M. Ecolabelling in textile industry: A review. **Resources, Environment and Sustainability**, v. 6, p. 100037, 2021.

RANGAPPA, SANJAY MAVINKERE *et al.* Lignocellulosic fiber reinforced composites: Progress, performance, properties, applications, and future perspectives. **Polymer Composites**, v. 43, n. 2, p. 645-691, 2022.

REIS, J. M. L.; MOTTA, E. P. Mechanical behavior of piassava fiber reinforced castor oil polymer mortars. **Composite Structures**, v. 111, p. 468-472, 2014.

RYŁKO-POLAK, IWONA; KOMALA, WOJCIECH; BIAŁOWIEC, ANDRZEJ. The Reuse of Biomass and Industrial Waste in Biocomposite Construction Materials for Decreasing Natural Resource Use and Mitigating the Environmental Impact of the Construction Industry: A Review. **Materials**, v. 15, n. 12, p. 4078, 2022

RYMOWICZ, WALDEMAR; KOPEC, WIESLAW; STEVENS, CHRISTIAN V. Primary production of raw materials. **Renewable Bioresources**, p. 72, 2004.

RODRIGUES, JEAN; SOUZA, JOSÉ ANTÔNIO; FUJIYAMA, ROBERTO. Polimeric composites reinforced with natural fibers from Amazon manufactured by infusion. **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 20, p. 946-960, 2015.

RONG, M.Z. *et al.* The effect of fiber treatment on the mechanical properties of unidirectional sisal-reinforced epoxy composites. **Composites Science and Technology**, v. 61, n. 10, p. 1437–1447, 2001

RUSCHEL-SOARES, RAYSA *et al.* Impactos Ambientais da Mistura Poliéster-Algodão Comparada à Fibra de Algodão no Brasil. **Economia Circular dos Materiais**, v. 4, n. 1, pg. 1-15, 2022.

SABINESH, S.; RENALD, CJ Thomas; SATHISH, S. Investigation on tensile and flexural properties of cotton fiber reinforced isophthalic polyester composites. **International journal of current engineering and technology**, v. 2, n. 2, p. 213-219, 2014.

SAEED, KHALID *et al.* Characterization of continuous carbon fibre reinforced 3D printed polymer composites with varying fibre volume fractions. **Composite Structures**, v. 282, p. 115033, 2022.

SAHEB, N. E JOG, J. Natural Fiber Polymer Composites: **A Review. Advances in polymer technology**, v. 2329, July, p. 351–363, 2015.

SALMAN, HANAA H. Estudo das propriedades mecânicas de compósito de poliéster insaturado reforçado com fibra de algodão. **Al-Qadisiyah Journal of Pure Science**, v. 18, n. 1, p.145-149, 2013.

SAMENI, FARZANEH *et al.* Large Scale Vat-Photopolymerization of Investment Casting Master Patterns: The Total Solution. **Polymers**, v. 14, n. 21, p. 4593, 2022.

SANDIN, GUSTAVO; PETERS, GREG M. Environmental impact of textile reuse and recycling: a review. **Journal of Cleaner Production**, p. 354-364. Fev. 2018.

SANTHANAM, S. *et al.* “Recycling of cotton and polyester fibers to produce nonwoven fabric for functional sound absorption material,” **Journal of Natural Fibers**, vol. 16, no. 2, pp. 300–306, 2019

SANTHOSH, G.; RAO, RAJATH N. Effect of castor oil on mechanical and thermal behaviours of hybrid fibres reinforced epoxy based polymer composites. **Materials Today: Proceedings**, v. 46, p. 2787-2790, 2021.

SANTOS FILHO, Juscelino Borba dos. **Compósito polimérico com matriz termofixa de poliéster com fibras descontínuas de poliéster reciclado a partir de resíduos têxteis**. 2023. 76 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Santa Catarina, Blumenau, 2023.

SAHA, PRAN KRISNA *et al.* Functionalization of hydrophobic nonwoven cotton fabric for oil and water repellency. **SN Applied Sciences**, v. 3, n. 5, p. 1-18, 2021.

SATO, Eduardo Shoiti. **Fabricação e ensaios experimentais de biocompósitos: estudo comparativo visando aplicações em estruturas aeronáuticas**. 2018. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

SATYANARAYANA, KESTUR G.; ARIZAGA, GREGORIO GC; WYPYCH, FERNANDO. Biodegradable composites based on lignocellulosic fibers—An overview. **Progress in polymer science**, v. 34, n. 9, p. 982-1021, 2009.

SATHISHKUMAR, TP. *et al.* Caracterização de fibras naturais e compósitos – Uma revisão. **Journal of Reinforced Plastics and Composites**, v. 32, n. 19, pag. 1457-1476, 2013.

Satyanarayana KG, Guimarães JL, Wypych F. Studies on lignocellulosic fibers of Brazil. Part I: Source, production, morphology, properties and applications. *Composites: Part A* 2007;38:1694–709.

SCANO, PAOLA. Characterization of the medium infrared spectra of polyphenols of red and white wines by integrating FT IR and UV–Vis spectral data. **LWT**, v. 147, p. 111604, 2021.

SEASE, CATHERINE. **A conservation manual for the field archaeologist**. ISD LLC, 1994.

SERVES, VINICIUS. Espumas flexíveis de poliuretana à base de polióis de óleo de mamona etoxilado. 2007. Tese de Doutorado.

SHANMUGAM, VIGNESHWARAN *et al.* Economia circular no desenvolvimento de biocompósitos: estado da arte, desafios e tendências emergentes. **Composites Part C: Open Access**, v. 5, p. 100138, 2021. See More

SHARMA, ASHA; SHARMA, ANUJA; SHARMA, ANURAG. **Fabrics made with warp component formed of spun yarn that is made with polyester fibers or acrylic fibers**. U.S. Patent Application n. 17/355,087, 16 jun. 2022.

SIKENG, RAMENGMAWII *et al.* Natural fiber reinforced polylactic acid composites: A review. **Polymer Composites**, v. 40, n. 2, p. 446-463, 2019.

SILVA, R. V. *et al.* Fracture toughness of natural fibers/castor oil polyurethane composites. **Composites science and technology**, v. 66, n. 10, p. 1328-1335, 2006.

SILVA, ROSANA VILARIM DA. **Compósito de resina poliuretana derivada do óleo de mamona e fibras vegetais**. 2003. 157 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Materiais, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

SILVA, ZEUSA FRANCISCA SOUZA DA. **Processamento e caracterização de compósito de sisal e poliuretano derivado de óleo vegetal**. 2018. 80 f. Dissertação

(Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica e de Materiais, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2018.

SMITH, W. F. **Princípios de Ciência e Engenharia dos Materiais**. 3ª Edição. ed. Lisboa: Mcgraw-Hill de Portugal, Ltda, 1998.

STANKEVICIUS, M. H.; LOBO, R. N. **Tecnologia têxtil - fundamentos**. 1 ed. Brusque, SC. Ed. do Autor, 2021.

STANESCU, MICHAELA DINA. **State of the art of post-consumer textile waste upcycling to reach the zero waste milestone**. Environmental Science and Pollution Research, v. 28, n. 12, p. 14253-14270, 2021.

SURIANI, M. J. *et al.* Critical review of natural fiber reinforced hybrid composites: Processing, properties, applications and cost. **Polymers**, v. 13, n. 20, p. 3514, 2021.

Suzuki, T.Y., Godas, A.G., Guedes, A.P., Catelan, A., Pavan, S., Briso, A.L., Santos, P.H., 2013. **Microtensile bond strength of resin cements to caries-affected dentin**. J.Prosthet. Dent.110, 47-55.

TREPTOW, DORIS. **Inventando Moda: Planejamento de Coleção**. 4. ed. [S.l.]: Brusque, 2009. 209 p. v. 1.

THITE, AMOL G.; DEEPALI, M. MORE. **Cure kinetic study of unsaturated polyester resin**, BTRA Scan-Vol. 2022.

TODOR, M. P. *et al.* **Recycling of textile wastes into textile composites based on natural fibres: the valorisation potential**. In: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. IOP Publishing, 2019. p. 012004.

UTEKAR, SHUBHAM *et al.* Comprehensive study of recycling of thermosetting polymer composites—Driving force, challenges and methods. **Composites Part B: Engineering**, v. 207, p. 108596, 2021.

VALENTE, MARCO *et al.* Paper fiber filled polymer. Mechanical evaluation and interfaces modification. **Composites Part B: Engineering**, v. 110, p. 520-529, 2017.

VERMA, CHANDRABHAN *et al.* Recent developments in sustainable corrosion inhibitors: design, performance and industrial scale applications. **Materials Advances**, v. 2, n. 12, p. 3806-3850, 2021.

VIEIRA, KARINA. **Síntese e caracterização de um compósito polimérico biodegradável utilizando poli(ácido láctico) e borra de café**. 2921. 103 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia e Ciências Mecânicas, Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2021.

VIGO, TYRONE L. **Textile processing and properties: Preparation, dyeing, finishing and performance**. Elsevier, 2013.

VINAYAKA, D. L. *et al.* Ricinus communis plant residues as a source for natural cellulose fibers potentially exploitable in polymer composites. **Industrial Crops and Products**, v. 100, p. 126-131, 2017.

XU, YIJIN. *et al.* Morphology and properties of thermoplastic polyurethanes with dangling chains in ricinoleate-based soft segments. **Polymer**, v. 49, n. 19, p. 4248-4258, 2008.

XUE, JING. *et al.* Processing of functional composite resins using deep eutectic solvent. **Crystals**, v. 10, n. 10, p. 864, 2020.

WAHEED A, ZHANG Q, RASHID Y, TAHIR MS, ZAFAR MW. Impact of green manufacturing on consumer ecological behavior: Stakeholder engagement through green production and innovation. **Sustainable Development**. 2020; 1–9

Y SOLIMAN, Marina; HASSABO, Ahmed G. Environmentally friendly inorganic materials for anti-flammable cotton fabrics. **Journal of Textiles, Coloration and Polymer Science**, v. 18, n. 2, p. 97-110, 2021.

ZAMAN, AHSAN *et al.* Preparation, properties, and applications of natural cellulosic aerogels: a review. **Energy and Built Environment**, v. 1, n. 1, p. 60-76, 2020.

ZHANG, LUSHUAI; BAIMA, MORGAN; L, ANDREW TRISHA. Transforming Commercial Textiles and Threads into Sewable and Weavable Electric Heaters. **Applied Materials & Interfaces, Massachusetts**, v. -, n. -, p. 32299-32307, set. 2017.

ZHANG, WEI; DEHGHANI-SANIJ, ABBAS A.; BLACKBURN, Richard S. Compósitos poliméricos conductores à base de carbono. **Journal of Materials Science**, v. 42, p. 3408-3418, 2007.

ZHOU, Ji *et al.* Utilizing the “Dangling Group Effect” Caused by the Cross-Linked Network Topology Transformation to Prepare High-Performance and Deformable Resins and Composites. **Macromolecules**, v. 54, n. 18, p. 8894-8903, 2021.

ZOHDY, M. H. Cationization and gamma irradiation effects on the dyeability of polyester fabric towards disperse dyes. **Radiation Physics and Chemistry**, v. 73, p. 101-110, 2005.

ZULIANI, Alessio *et al.* Environmentally friendly ZnO/Castor oil polyurethane composites for the gas-phase adsorption of acetic acid. **Journal of Colloid and Interface Science**, v. 614, p. 451-459, 2022.

WANG, B; YOUNG, W. “The natural fiber reinforced thermoplastic composite made of woven bamboo fiber and polypropylene,” **Fibers and Polymers**, vol. 2021, pp. 1–9, 2021.

WANG, Hong Juan *et al.* Interfacial effects in short sisal fiber/maleated castor oil foam composites. **Composite Interfaces**, v. 15, n. 2-3, p. 95-110, 2008.

WANG, HUA; MEMON, HAFEEZULLAH. **Cotton Science and Processing Technology**. Springer, Singapore, 2020.

WOLLERDORFER, Martina, and HERBERT, Bader. Influence of natural fibres on the mechanical properties of biodegradable polymers. **Industrial crops and products**, no. 2 (1998): 105-112.