

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

Georgio Enrico Tirloni

**CARACTERIZAÇÃO E DESENVOLVIMENTO DE UM COMPÓSITO DE
POLIETILENO VERDE REFORÇADO COM RESÍDUO TÊXTIL**

Santa Maria, RS

2020

Georgio Enrico Tirloni

**CARACTERIZAÇÃO E DESENVOLVIMENTO DE UM COMPÓSITO DE
POLIETILENO VERDE REFORÇADO COM RESÍDUO TÊXTIL**

Dissertação apresentada ao curso de Pós-graduação em Engenharia de Produção, na área de pesquisa de Gestão Integrada, da Universidade Federal de Santa Maria, como requisito parcial para a obtenção do título de **Mestre em Engenharia de Produção.**

Orientador: Prof. Dr. Leandro Cantorski da Rosa

Santa Maria, RS

2020

Tirloni, Georgio Enrico
Caracterização e desenvolvimento de um compósito de
polietileno verde reforçado com residuo têxtil / Georgio
Enrico Tirloni.- 2020.
104 p.; 30 cm

Orientador: Leandro Cantorski da Rosa
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em
Engenharia de Produção, RS, 2020

1. Compósito 2. Residuo têxtil 3. Polietileno verde I.
Cantorski da Rosa, Leandro II. Título.

Sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFSM. Dados fornecidos pelo autor(a). Sob supervisão da Direção da Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central. Bibliotecária responsável Paula Schoenfeldt Patta CRB 10/1728.

©2020

Todos os direitos autorais reservados a Georgio Enrico Tirloni. A reprodução ou partes do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante citação da fonte.

Endereço eletrônico: georgio_tirloni@hotmail.com

Georgio Enrico Tirloni

**CARACTERIZAÇÃO E DESENVOLVIMENTO DE UM COMPÓSITO DE
POLIETILENO VERDE REFORÇADO COM RESÍDUO TÊXTIL**

Dissertação apresentada ao curso de Pós-graduação em Engenharia de Produção, na área de pesquisa de Gestão Integrada, da Universidade Federal de Santa Maria, como requisito parcial para a obtenção do título de **Mestre em Engenharia de Produção**.

Aprovado em 12 de março de 2019:

Leandro Cantorski da Rosa, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)

Denis Rasquin Rabenschlag, Dr. (UFSM)

Tiago Moreno Volkmer, Dr. (UFPEL)

Santa Maria, RS
2020

AGRADECIMENTOS

Durante este período de dois anos de realização de mestrado, no qual foi desenvolvido um compósito de polietileno verde reforçado com resíduo têxtil, posso afirmar que foram encontrados diversos desafios durante essa caminhada, mas com muita persistência e determinação todas as adversidades foram contornadas. Além disso, tive a ajuda de muitas pessoas especiais, às quais gostaria de agradecer:

- Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de estudos no primeiro ano de mestrado, a qual me ajudou muito no início da pesquisa;

- Ao meu professor orientador Leandro, pelo empenho, dedicação, paciência e por ter me dado a oportunidade de ter uma experiência como docente;

- Agradeço aos meus pais e meus irmãos, por todo o apoio e suporte, sem eles tudo se tornaria mais difícil. Agradeço também a Betânia, companheira e amiga, que mesmo nos piores momentos, sempre esteve ao meu lado.

- Ao Eduardo e a Pitt Jeans, por toda a compreensão e apoio, entendendo a importância dessa formação para mim, mesmo quando precisei faltar vários dias de trabalho e também por me deixar aplicar o conhecimento adquirido durante o curso.

- Agradeço ao Laboratório de Materiais da UNISC, principalmente a professora Claudia Mahlmann, a qual me auxiliou no desenvolvimento do material, por todas as dicas e disponibilidade em me ajudar com as dúvidas encontradas;

- Ao Laboratório de Polímeros da UCS, coordenado pelo professor Ademir Jose Zattera. Agradeço a Lilian e ao Baltazar, que literalmente salvaram a minha pesquisa, entendendo a urgência, se prontificando a me ajudar da melhor maneira possível, seja no desenvolvimento do compósito, nas análises e com ótimas dicas que foram aplicadas;

- Finalmente, quero agradecer à UFSM pela oportunidade de realização e obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção. Bem como aos professores do Programa pelos ensinamentos e aos funcionários pelo apoio e atenção dedicados a nós alunos.

RESUMO

CARACTERIZAÇÃO E DESENVOLVIMENTO DE UM COMPÓSITO DE POLIETILENO VERDE REFORÇADO COM RESÍDUO TÊXTIL

AUTOR: Georgio Enrico Tirloni

ORIENTADOR: Prof. Dr. Leandro Cantorski da Rosa

O setor têxtil é um dos segmentos com maior impacto ambiental negativo, onde os resíduos sólidos gerados pelo processo de corte representam um dos grandes problemas causados por essas indústrias. Esta pesquisa teve o objetivo de desenvolver um compósito utilizando o resíduo têxtil como reforço para o polietileno verde de alta densidade (PEAD). O trabalho segue as práticas da produção mais limpa em conjunto com as ferramentas do gerenciamento de projetos. A produção mais limpa se faz presente na reciclagem de resíduos, demonstrando os benefícios ambientais do projeto. O gerenciamento de projetos foi aplicado para o planejamento da pesquisa, através da ferramenta *Project Model Canvas*, auxiliando no planejamento e na execução das atividades. Através de ensaios mecânicos de flexão, tração e impacto, foram analisadas três variáveis diferentes: a proporção reforço/matriz, onde foram testados 10, 15 e 20% de massa em fibras; a composição do resíduo, avaliando os resíduos 100% algodão e 70% algodão/30% poliéster e; 2 tipos de processamento, a prensagem a quente e a injeção. Para todas as análises mecânicas, o aumento de propriedades foi gradativo à adição de fibras. Com 20% de massa em fibras o material injetado apresentou 27,03 MPa de resistência à flexão, 30,94 MPa de resistência à tração e 76,44 J/m de resistência ao impacto. No comparativo entre as composições dos resíduos, de maneira geral, o tecido 100% algodão promoveu maiores resistências e módulos e o resíduo com poliéster maiores alongamentos. Na avaliação dos processamentos, a prensagem a quente foi superior apenas nos ensaios de flexão, apresentando 30,60 MPa de resistência e 1942 MPa de módulo de elasticidade. A análise de custos reiterou que a injeção é o processo mais viável devido às propriedades apresentadas e o custo para produção. O material desenvolvido demonstra potencialidade para futuras aplicações, mesmo com o valor elevado do PEAD verde, que aumentaria em cerca de 8% o preço de peças confeccionadas com o compósito. A avaliação ambiental se mostrou positiva, tendo em vista que atendeu às exigências da produção mais limpa, pois houve o emprego de matéria prima reciclável e o material mostrou-se capaz de diminuir o impacto ambiental gerado pelo setor têxtil.

Palavras-chave: Compósito. Resíduo têxtil. Polietileno verde.

ABSTRACT

CHARACTERIZATION AND DEVELOPMENT OF A TEXTILE WASTE ENHANCED GREEN POLYETHYLENE COMPOSITE

AUTHOR: Georgio Enrico Tirloni

ADVISOR: Prof. Dr. Leandro Cantorski da Rosa

The textile sector is one of the segments with the greatest negative environmental impact, where solid waste generated by the cutting process represents one of the major problems caused by these industries. This research aimed to develop a composite using textile waste as a reinforcement for high density green polyethylene (HDPE). The work follows the practices of cleaner production in conjunction with project management tools. Cleaner production is present in waste recycling, demonstrating the environmental benefits of the project. Project management was applied to research planning, through the Project Model Canvas tool, assisting in the planning and execution of activities. Through mechanical tests of flexion, traction and impact, three different variables were analyzed: the reinforcement/matrix ratio, where 10, 15 and 20% of mass in fibers were tested; the composition of the residue, evaluating the residues 100% cotton and 70% cotton/30% polyester and; 2 types of processing, hot pressing and injection. For all mechanical analyzes, the increase in properties was gradual to the addition of fibers. With 20% of mass in fibers, the injected material showed 27,03 MPa of flexural strength, 30,94 MPa of tensile strength and 76.44 J/m of impact resistance. In the comparison between the waste compositions, in general, the 100% cotton fabric promoted greater resistance and modules and the residue with polyester increased elongations. In the evaluation of the processing, the hot pressing was superior only in the flexion tests, presenting 30,60 MPa of resistance and 1942 MPa of modulus of elasticity. The cost analysis reiterated that the injection is the most viable process due to the properties presented and the cost for production. The material developed shows potential for future applications, even with the high value of green HDPE, which would increase the price of parts made with the composite by about 8%. The environmental assessment proved to be positive, considering that it met the requirements of cleaner production, as there was the use of recyclable raw material and the material was shown to be able to reduce the environmental impact generated by the textile sector.

Keywords: Composite. Textile waste. Green polyethylene.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Metodologia da Produção mais limpa	21
Figura 2 – Classificação dos materiais compósitos	24
Figura 3 – Estrutura intermolecular dos polímeros sintéticos	26
Figura 4 – Classificação das fibras têxteis	31
Figura 5 – Processo de prensagem a quente.....	36
Figura 6 – Processo de moldagem por injeção	38
Figura 7 – Modelo do <i>Project Model Canvas</i>	42
Figura 8 – <i>Project Model Canvas</i> base desta pesquisa	44
Figura 9 – Etapas da pesquisa.....	44
Figura 10 – Fluxograma de desenvolvimento dos corpos de prova	46
Figura 11 – Aspecto do polietileno verde de alta densidade utilizado como matriz.....	48
Figura 12 – Resíduo têxtil aplicado como reforço para o compósito desenvolvido	50
Figura 13 – Resíduo têxtil desfibrado.....	50
Figura 14 – Material homogeneizado após processamento no Drais.....	52
Figura 15 – Moldes com dimensões padronizados e corpos de prova para ensaios	56
Figura 16 – Termograma de TGA do PEAD verde (amostra 1).....	62
Figura 17 – Termograma de TGA das amostras 3, 4, 5 e 6	62
Figura 18 – Primeira derivada do termograma de TGA das amostras 3, 4, 5 e 6	63
Figura 19 – Termograma de DSC das Amostras – indicativo de Tm	65
Figura 20 – Resistência à flexão das amostras 1, 3, 4 e 5 (análise da influência da proporção de resíduo)	66
Figura 21 – Módulo de elasticidade em flexão das amostras 1, 3, 4 e 5 (análise da influência da proporção de resíduo)	67
Figura 22 – Alongamento na flexão máxima das amostras 1, 3, 4 e 5 (análise da influência da proporção de resíduo)	67
Figura 23 – Resistência à flexão das amostras 3 e 6 (comparação entre composição dos resíduos).....	68
Figura 24 – Módulo de elasticidade em flexão das amostras 3 e 6 (comparação entre composição dos resíduos)	69
Figura 25 – Alongamento na flexão máxima das amostras 3 e 6 (comparação entre composição dos resíduos)	69
Figura 26 – Resistência à flexão (comparação entre processamentos).....	70
Figura 27 – Módulo de elasticidade em flexão (comparação entre processamentos)....	71
Figura 28 – Alongamento na flexão máxima (comparação entre processamentos).....	71
Figura 29 – Resistência máxima à tração das amostras 1, 3, 4 e 5 (análise da influência da proporção de resíduo)	73
Figura 30 – Módulo de elasticidade em tração das amostras 1, 3, 4 e 5 (análise da influência da proporção de resíduo)	73
Figura 31 – Alongamento na tração máxima das amostras 1, 3, 4 e 5 (análise da influência da proporção de resíduo)	74
Figura 32 – Resistência máxima à tração das amostras 3 e 6 (comparação entre composição dos resíduos)	75
Figura 33 – Módulo de elasticidade em tração das amostras 3 e 6 (comparação entre composição dos resíduos)	75

Figura 34 – Alongamento na tração máxima das amostras 3 e 6 (comparação entre composição dos resíduos)	76
Figura 35 – Resistência máxima à tração das amostras 2 e 3 (comparação entre processamentos)	77
Figura 36 - Módulo de elasticidade em tração das amostras 2 e 3 (comparação entre processamentos)	77
Figura 37 – Alongamento na tração máxima das amostras 2 e 3 (comparação entre processamentos)	78
Figura 38 – Resistência ao impacto Izod das amostras 1, 3, 4 e 5 (análise da influência da proporção de resíduo).....	79
Figura 39 – Resistência ao impacto Izod das amostras 3 e 6 (comparação entre composição dos resíduos)	80
Figura 40 - Resistência ao impacto Izod das amostras 2 e 3 (comparação entre processamentos)	80
Figura 41 – Palete de transporte confeccionado com PEAD modelo IN1210EX.	84
Figura 42 – Capacete de segurança modelo H-700 da 3M	84

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Algumas propriedades do polietileno de baixa densidade (PEBD) e polietileno de alta densidade (PEAD).....	28
Tabela 2 – Propriedades das principais fibras têxteis	32
Tabela 3 – Propriedades do polietileno verde de alta densidade (SHC7260)	48
Tabela 4 – Resíduos têxteis utilizados como reforço	49
Tabela 5 – Resultados de Tm da DSC.....	64

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Amostras analisadas	54
Quadro 2 – Parâmetros de injeção utilizados.....	55
Quadro 3 – Resultado de TGA das amostras.....	63
Quadro 4 – Custo estimado de produção de 1 kg de compósito analisando os processamentos utilizados.	82
Quadro 5 – Contribuição do PE verde para o impacto das mudanças climáticas	86

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

°C/min	Graus Celsius por minuto
A	Ampère
ABIPLAST	Associação Brasileira da Indústria do Plástico
ABIT	Associação Brasileira da Indústria Têxtil
ABNT	Associação Brasileira de Normas técnicas
ABRAPA	Associação Brasileira de Produtores de algodão
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
CONMETRO	Conselho Nacional de Metrologia
CO ₂	Dióxido de carbono
cm	Centímetro
cm ³ /s	Centímetro cúbico por segundo
DSC	Calorimetria diferencial de varredura
GP	Gerenciamento de projetos
GPa	Gigapascal
g	Gramma
g/cm ³	Gramma por centímetro cúbico
g/10min	Gramma por 10 minutos
J	Joule
J/m	Joule por metro
kJ/m ²	Quilojoule por metro quadrado
kg	Quilograma
kg/cm ³	Quilograma por centímetro cúbico
kN	Quilonewton
mg	Miligrama
mm	Milímetro
mm/min	Milímetro por minuto
ml/min	Mililitro por minuto
MPa	Megapascal
PE	Polietileno
PEAD	Polietileno de alta densidade
PEBD	Polietileno de baixa densidade
PLA	Poliácido Láctico
PMC	<i>Project Model Canvas</i>
PML	Produção mais limpa
PMBOK	<i>Project Management Body of Knowledge</i>
T _c (°C)	Temperatura de transição vítrea
T _g (°C)	Temperatura de cristalização
T _m (°C)	Temperatura de fusão
UCS	Universidade de Caxias do Sul
UFMS	Universidade Federal de Santa Maria
UNISC	Universidade de Santa Cruz do Sul

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	JUSTIFICATIVA	15
1.2	OBJETIVOS	18
1.2.1	Objetivo geral	18
1.2.2	Objetivos específicos	18
1.3	ESTRUTURA DO TRABALHO	19
2	REVISÃO DE LITERATURA	20
2.1	PRODUÇÃO MAIS LIMPA	20
2.2	COMPÓSITO	23
2.2.1	Compósito de matriz polimérica	25
2.2.1.1	Compósito de polietileno	27
2.2.1.2	Compósito de polietileno verde	29
2.3	REFORÇO TÊXTIL	31
2.4	PROCESSAMENTO DOS COMPÓSITOS	34
2.4.1	Prensagem a quente	36
2.4.2	Moldagem por injeção	37
3	METODOLOGIA	40
3.1	CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA	40
3.2	GERENCIAMENTO DE PROJETOS	40
3.2.1	Gerenciamento de projetos da pesquisa	43
3.3	MATERIAIS E EQUIPAMENTOS	47
3.3.1	Polietileno verde de alta densidade (PEAD)	48
3.3.2	Resíduo Têxtil	49
3.4	PREPARAÇÃO DO RESÍDUO TÊXTIL	50
3.5	PREPARAÇÃO DA MISTURA	51
3.5.1	Misturador Drais (método 1)	51
3.5.2	Extrusora dupla rosca (método 2)	52
3.6	PROCESSAMENTO DOS CORPOS DE PROVA	53
3.6.1	Prensa térmica (método 1)	54
3.6.2	Moldagem por injeção (método 2)	55
3.7	ANÁLISES TERMOANALÍTICAS	56
3.7.1	Análise termogravimétrica (TGA)	57
3.7.2	Calorimetria diferencial de varredura (DSC)	57
3.8	ENSAIOS MECÂNICOS NORMALIZADOS	58
3.8.1	Resistência à flexão	58
3.8.2	Resistência à tração	59
3.8.3	Resistência ao impacto Izod	59
3.9	AVALIAÇÃO AMBIENTAL E ANÁLISE DE CUSTOS	59
4	ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	61
4.1	AVALIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS TÉRMICAS DOS COMPÓSITOS	61
4.1.1	Análise termogravimétrica (TGA)	61
4.1.2	Análise de calorimetria diferencial de varredura (DSC)	64
4.2	AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DOS COMPÓSITOS	65
4.2.1	Resistência à flexão	66

4.2.2	Resistência à tração	72
4.2.3	Resistência ao impacto Izod	78
4.3	ANÁLISE DE CUSTOS	81
4.4	AVALIAÇÃO AMBIENTAL.....	85
4.5	GERENCIAMENTO DE PROJETOS	87
5	CONCLUSÃO	89
5.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	91
	REFERÊNCIAS.....	93

1 INTRODUÇÃO

A expansão da atividade industrial aliada ao crescimento progressivo da população e o consumo inconsequente agravam cada vez mais os índices de poluição e desperdício. Fortalecido pela ineficiência dos processos industriais que tornam inevitável a geração de resíduos, contribuindo para o acúmulo desses em aterros sanitários. Essa utilização indevida de recursos naturais e o descarte alarmante de materiais vêm alertando a comunidade científica, promovendo um aumento substancial de pesquisas com o intuito de encontrar soluções sustentáveis para minimizar esse impacto ambiental negativo (KUMAR, et al., 2017; SANTOS & CABRAL, 2013).

Ainda existe uma enorme dificuldade de usar e destinar corretamente os resíduos gerados por empresas, ocasionando custos desnecessários e graves problemas ambientais. Contudo, há sobras de materiais que apresentam um ótimo potencial de aplicação em inovações sustentáveis. Cabe à engenharia, projetar, construir e operar tecnologias de novos materiais e processos que permitam a utilização de matérias-primas recicladas e de origem renovável.

A norma ABNT NBR ISO 9001 afirma que, o desenvolvimento sustentável das organizações passa pelo emprego de sistemas de qualidade e a tomada de decisões que promovam a melhora dos processos e a eficiência no que diz respeito a sustentabilidade. Vale destacar a produção mais limpa (PML), que busca a diminuição da produção de resíduos, otimizando, reciclando e reutilizando os insumos e matérias-primas utilizadas nos processos produtivos (GUIMARÃES; SEVERO; VIEIRA, 2017; ROY, 2016; ABNT, 2015).

O processo de desenvolvimento de produto, criação de novos materiais e novas tecnologias, consiste em um conjunto de atividades que têm como objetivo atender às expectativas estipuladas no escopo do projeto. Além disso, fazer uso de ferramentas de gerenciamento de projeto torna o processo mais simples, claro, flexível e interativo, de forma a obter melhores resultados (AMARAL, et al., 2011).

Novos projetos requerem a busca de alternativas para aperfeiçoar os produtos, assim a utilização de materiais com melhores propriedades se faz necessário, onde se destacam os materiais compósitos (CALEGARI; OLIVEIRA, 2016). Definidos como

materiais formados por duas ou mais fases que diferem entre si química e fisicamente. Fases essas normalmente divididas entre matriz, responsável principalmente por estruturar o compósito e reforço, o qual objetiva aprimorar as propriedades desejadas. Quando em união, formam um material com características diferentes dos seus materiais base (SHETTY et al., 2017; CALLISTER JR; RETHWISCH, 2016).

A substituição de materiais comumente empregados em diversos segmentos industriais por compósitos já é uma realidade (SHETTY et al., 2017; CALLISTER JR; RETHWISCH, 2016). O número de estudos com compósitos feitos a partir de resíduos e fontes renováveis aumenta gradativamente, tendo em vista que suas propriedades costumam atender de maneira satisfatória aos requisitos mecânicos e estéticos exigidos pelos produtos (CALEGARI; OLIVEIRA, 2016).

Os polímeros são amplamente utilizados como matriz para compósitos, pois apresentam uma vasta gama de variações e propriedades, possibilitando seu emprego em diversas aplicações. Dentre eles, o polietileno tem um grande destaque, principalmente pela sua ótima relação custo/propriedades (CHUNG, 2019).

Contudo, além do desperdício alarmante de materiais poliméricos, sua crescente demanda agrava ainda mais o aquecimento global, havendo urgência em encontrar soluções para frear o seu descarte e minimizar a poluição gerada na sua produção. Uma possível resposta para isso seria a substituição de polímeros originários do petróleo por aqueles reciclados ou oriundos de fontes naturais, como é o caso do polietileno verde, polimerizado a partir da cana de açúcar (BORONAT et al., 2015).

O Brasil é um grande fabricante têxtil. Produz em larga escala a matéria-prima utilizada pelo setor e é o quinto maior confeccionista do mundo, porém, este é um dos setores com maior impacto ambiental negativo. Os retalhos e aparas que são gerados do processo de corte são resultados da ineficiência da modelagem manual ou automatizada, limitação essa que pode ocasionar uma perda de até 30% do tecido (ANICET et al., 2014).

Atualmente, a maioria das fibras têxteis são produzidas a partir de um único tipo de fibra ou da mistura de várias fibras, naturais ou sintéticas, possibilitando grande variedade nas características dos produtos. Algodão e poliéster, fibra natural e sintética respectivamente, são os materiais mais usados no país para a confecção de roupas.

(ABIT, 2017). A utilização destas fibras têxteis como reforço em materiais compósitos, apresenta um grande potencial para melhorar o desempenho do material em aplicações tecnológicas, além de baixo custo, abundância, e biodegradabilidade no caso das fibras naturais (BORSOI et al., 2011).

Segundo Borsoi et al. (2011), as fibras naturais combinam boas propriedades mecânicas com uma baixa massa específica e boa estabilidade dimensional. Assim como as fibras sintéticas, que além dessas qualidades, podem apresentar alta tenacidade, elasticidade, resistência ao calor, entre outras características que podem fazer destes filamentos boas opções para o desenvolvimento de materiais compósitos (NAJAFI; NASRI; KOTEK, 2017).

1.1 JUSTIFICATIVA

De acordo com a Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção (ABIT) (2017), o Brasil é referência mundial no setor, sendo o quinto maior produtor têxtil do mundo. Com uma produção aproximada de 1,7 milhão de toneladas, representando US\$ 37 bilhões de faturamento, com mais de 29 mil empresas formais espalhadas pelo país, sendo o segundo setor que mais emprega, representando 16,7% dos empregos formais no Brasil (ABIT, 2017).

Assim, compreende-se a importância deste setor para o país. Contudo, o setor têxtil é um dos segmentos com grande potencial de impactos ambientais negativos, pois, toda a sua cadeia de produção é ampla e diversificada (ANICET et al, 2014). Resíduos associados aos processos produtivos são os grandes geradores de desperdício. Como exemplo, se destacam os resíduos sólidos, retalhos e aparas, gerados principalmente no processo de corte (ANICET et al, 2014).

Os dados sobre a geração de resíduos têxteis são limitados e de difícil acesso, porém, segundo Freire e Lopes (2013), em um dos principais polos de confecção do estado de São Paulo, cerca de 1200 empresas produzem diariamente 12 toneladas de resíduos têxteis, representando 2% do total produzido no país, estimado em 175 mil toneladas/ano, e dessas apenas 36 mil toneladas eram recicladas. No Reino Unido cerca de 2,35 milhões de resíduos têxteis são desperdiçados, onde, 74% destes são

enviados aos aterros sanitários. Nos EUA, em 2011, a geração de resíduos têxteis chegou à marca de mais de 13 milhões de toneladas por ano (WANG, 2006; EPA, 2011).

Devido à dificuldade de encontrar dados mais recentes e fidedignos sobre a produção de resíduos no estado do Rio Grande do Sul, foi realizado um estudo de caso na Pitt Jeans de Santa Cruz do Sul, RS, cidade localizada na região central do estado. A empresa tem mais de 50 anos de história, sendo hoje a maior empresa de confecção do estado, produzindo cerca de 1,2 milhões de peças por ano, empregando mais de 100 pessoas diretamente e cerca de 1000 pessoas indiretamente.

Atualmente a maioria dos processos de confecção são realizados por empresas terceirizadas. Apenas os processos de corte e acabamento são executados dentro da fábrica. Para o corte, a empresa usa um dos equipamentos mais modernos do mundo, fornecido pela empresa francesa Lectra, a Brio Vector Fashion ix6, que utiliza um software para calcular e direcionar o caminho do corte visando à otimização e diminuição do desperdício.

De acordo com dados do gestor da empresa, com a máquina de corte Brio, o desperdício é aproximadamente de 10 a 17% por processo de corte, diminuindo em até 20% quando comparados com o maquinário utilizado anteriormente. Os retalhos e aparas gerados pelo processo somaram no ano de 2019, 86 toneladas de resíduos têxteis.

Contudo, o gestor da empresa enfatizou a dificuldade de encontrar soluções para esses resíduos: 5% foram doados para um projeto carente da cidade, sendo o restante destinado para uma empresa paga para fazer o recolhimento trimestralmente. Metade do material recolhido é utilizado como matéria prima para forro de carro e isolamento térmico de motores, sendo o excedente destinado para os aterros mais apropriados.

A separação é realizada de acordo com a composição e o tipo de lavagem necessária para cada tecido e coloração, contudo, não foi possível obter informações mais detalhadas. De qualquer forma, constatou-se que aproximadamente 40 toneladas de resíduos da Pitt Jeans foram destinadas a aterros no ano de 2019, demonstrando a dimensão do problema, pois esta é uma empresa que investe e preocupa-se em diminuir e destinar corretamente os seus resíduos.

A decomposição desses resíduos é lenta e produz metano, contribuindo para o aquecimento global e lixiviado, contaminando a água e a superfície. Isso se agrava ainda mais quando são tecidos sintéticos, onde a decomposição pode levar centenas de anos (LEE, 2009).

A Lei nº 12.305/2010 demonstra a diferença entre rejeitos e resíduos (BRASIL, 2010). Os restos de tecidos são resíduos porque podem ser reaproveitados, reciclados e tratados e devem ter sua disposição final adequada, são 100% recicláveis e dispõe de tecnologia para ser reciclado e reutilizado, porém, essa ainda não é uma realidade no Brasil.

Logo, se faz necessário a utilização de métodos de otimização e reaproveitamento desses materiais, para que se possa minimizar o seu descarte inconsequente. Fazendo uso de ferramentas como a produção mais limpa, associando ao progresso tecnológico, é possível hoje desenvolver novos materiais com estes resíduos (ROY, 2016; DIAS, 2014). Com este pensamento, apresentam-se os materiais compósitos.

Apesar de o estudo com fibras naturais como reforço para compósitos poliméricos estar “em alta”, poucas são as pesquisas que abordam a utilização de resíduos têxteis provenientes dos processos de corte. Visto que, esses resíduos possuem uma determinada composição, como o jeans, que é geralmente composto por uma junção de algodão e poliéster em sua maioria, em uma proporção variável. Há a necessidade de investigar a possibilidade de aplicação desses resíduos em materiais compósitos, salientando a diferença de comportamento mecânico de acordo com a sua composição.

Com base nessas informações, fundamenta-se a oportunidade e a necessidade de elaboração de um compósito polimérico utilizando resíduos têxteis como reforço. Fazendo uso das ferramentas de PML para o desenvolvimento do material. Técnicas que se demonstram eficientes e eficazes no que tange ao desenvolvimento sustentável de produtos e processos. E para o planejamento das atividades, definição do escopo e dos objetivos, aplicou-se ferramentas do gerenciamento de projetos, tornando o processo mais claro para todos os envolvidos.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Caracterizar e desenvolver mecanicamente um compósito utilizando o polietileno verde como matriz e resíduos da indústria têxtil como reforço.

1.2.2 Objetivos específicos

Para alcançar o objetivo geral, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- a) Analisar a influência causada pela proporção do reforço;
- b) Avaliar duas diferentes composições dos resíduos; e
- c) Comparar dois tipos de processamento para o desenvolvimento do compósito;
- d) Realizar a análise de custos e a análise ambiental, comparando o material desenvolvido com o polietileno tradicional.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho está organizado em cinco seções. Na primeira seção está a introdução, onde é apresentado o assunto abordado no estudo, bem como a contextualização do problema. É abordada ainda a justificativa pela escolha da temática em questão, bem como os objetivos que norteiam a pesquisa.

O referencial teórico, presente na segunda seção, consiste no estudo de conceitos e trabalhos já feitos por outros autores sobre os assuntos pertinentes ao tema da pesquisa, servindo como embasamento para o desenvolvimento do trabalho.

A terceira seção engloba a metodologia, no qual foram detalhados os procedimentos a serem realizados no decorrer da pesquisa para o alcance dos objetivos. Seguido pela análise e discussão dos resultados na quarta sessão. Na quinta seção constam as conclusões, e por fim, as referências.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Nesta seção foi evidenciada uma breve exposição sobre produção mais limpa, gerenciamento de projeto, compósitos, compósito de matriz polimérica, reforço têxtil e processamento dos compósitos.

2.1 PRODUÇÃO MAIS LIMPA

A PML busca minimizar a produção de resíduos de um processo, aumentando a eficiência da utilização da matéria-prima, investigando processos que poderiam ser melhorados, reaproveitando e reciclando aqueles materiais que não puderam ser realocados no sistema (GUIMARÃES; SEVERO; VIERA, 2017). Definida em 1988, pelo UNEP (*United Nations Environmental Program*), metodologicamente, busca uma integração entre as estratégias econômicas, ambientais e tecnológicas dos processos e produtos.

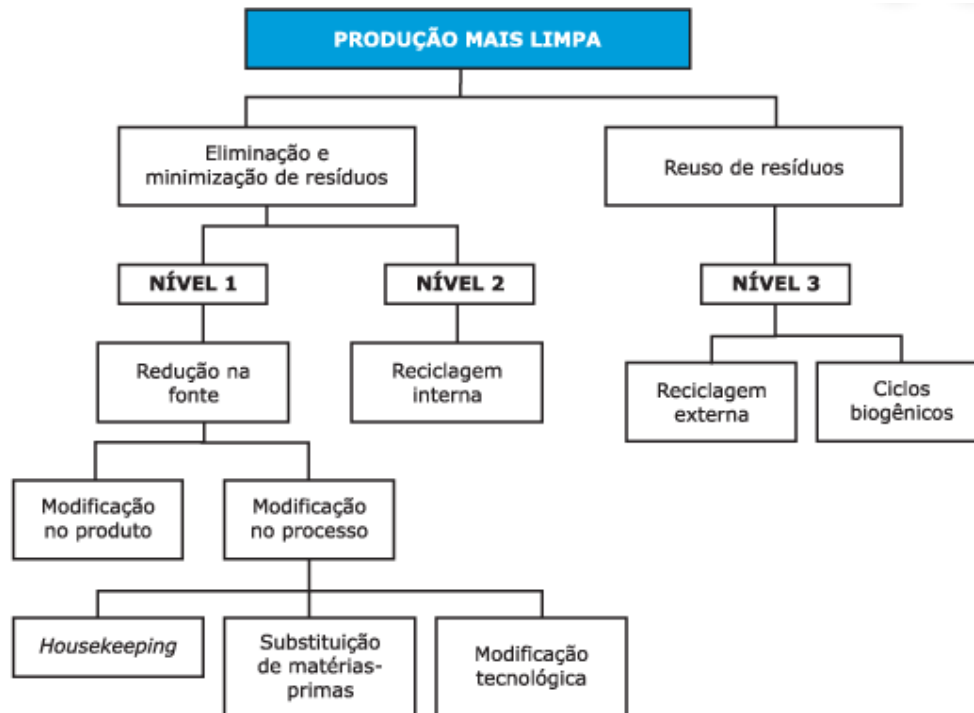
Resumidamente, a produção mais limpa consiste em eliminar a poluição durante o processo produtivo, atacando nas causas do problema (TAGLIARI et al., 2015). Ainda, quando o problema não pode ser solucionado no processo, é possível utilizar uma das estratégias da PML, que é a reciclagem dos resíduos, onde esses podem ser reaproveitados para a criação de um novo produto (Figura 1) (GUIMARÃES; SEVERO; VIERA, 2017).

O método da PML tem intensificado melhorias em grandes indústrias, principalmente naquelas onde há um conhecimento técnico e a capacidade organizacional de aplicar ideias inovadoras. A produção mais limpa permitiu que as organizações imaginassem a ideia de gerenciamento ecológico de maneira prática e pusessem em ação a probabilidade de criar mais com menos, contudo, ainda não é uma técnica padrão adotada pelas empresas (SATISH; NAGESHA, 2018).

O presente estudo fez uso do nível 3 da PML, reciclando os resíduos gerados pelo processo de corte do setor têxtil para o desenvolvimento de um novo material, mas além disso, a metodologia já comprovou ser muito benéfica para o setor, como salientado por Ozturk et al. (2016), que demonstraram que a PML é amplamente

utilizada pelo setor têxtil. Sua aplicação bem executada pode trazer benefícios em pouco tempo, reduzindo a degradação ambiental ocasionada por um dos segmentos mais poluidores.

Figura 1 – Metodologia da Produção mais limpa



Fonte: Barbieri (2007, p. 376)

Souza et al. (2018), utilizaram como norteador de sua pesquisa a produção mais limpa para desenvolver um compósito com resíduos de madeira e resíduos de tinta à base de epóxi como adesivo para a confecção de painéis. Os resultados demonstraram um desempenho físico e mecânico satisfatório, mas principalmente, o estudo destacou o ganho ambiental em utilizar resíduos para a confecção destes painéis, diminuindo a emissão de toxinas na atmosfera.

Tian et al. (2017) comprovaram a eficácia da PML como direcionador para a reciclagem da fibra de carbono e do polímero PLA (Poliácido láctico), transformando esses resíduos em fibras para sua reutilização em impressão 3D. O compósito fabricado com esses resíduos, usando a impressão 3D, manteve o desempenho

mecânico do conjunto, melhorando ainda a resistência à flexão em 25% quando comparados ao compósito original, promovendo uma redução de desperdício de materiais e de energia.

Aplicando o terceiro nível da PML, Rosa et al. (2015) desenvolveram diferentes placas para isolamento térmico, utilizando casca de arroz, talo de girassol, gesso e tecido de juta, compararam seu desempenho com a lã de vidro. Os bons resultados obtidos, comprovaram que o material desenvolvido pode ser uma alternativa viável na substituição de materiais convencionais.

Matos et al. (2018) demonstraram em sua revisão literária algumas dificuldades na implementação de estratégias da PML, salientando que um dos principais obstáculos seria a organização empresarial, pois é necessário um ambiente motivado e flexível à novas ideias. Concluíram que muitas empresas e governos das quais conseguiram aplicar as práticas da PML, colheram frutos tangíveis e intangíveis, como ganhos de reputação.

Gomes, Lima e Franco (2016) descrevem que uma série de medidas devem ser adotadas para implantar a tecnologia da produção mais limpa nos processos produtivos, que vão desde eficiência energética ao consumo racional dos recursos.

Guimarães, Severo e Vieira (2017) realizaram uma importante conexão entre a PML e o gerenciamento de projetos, definindo como essencial garantir a eficácia dos fatores que podem influenciar o sucesso da produção mais limpa — identificação de critérios de decisão e uma metodologia eficaz para gerenciar projetos e implementar estratégias para alcançar os resultados esperados. Em uma pesquisa com 238 empresas, concluíram que quanto maior o nível de maturidade de gerenciamento de projetos de uma empresa, maiores são as chances de sucesso da produção mais limpa.

A PML contribuiu e vem contribuindo significativamente através de suas técnicas e ferramentas para o desenvolvimento sustentável nos negócios e na indústria, auxiliando na busca por um ambiente mais limpo (HENS, et al., 2018). A produção mais limpa não é uma técnica imediatista, auxiliando as transições sustentáveis em longo prazo. Para os autores, este talvez seja seu maior benefício, pois soluções bem planejadas e executadas ao longo do tempo, de forma gradativa, geram um maior impacto na sociedade

2.2 COMPÓSITO

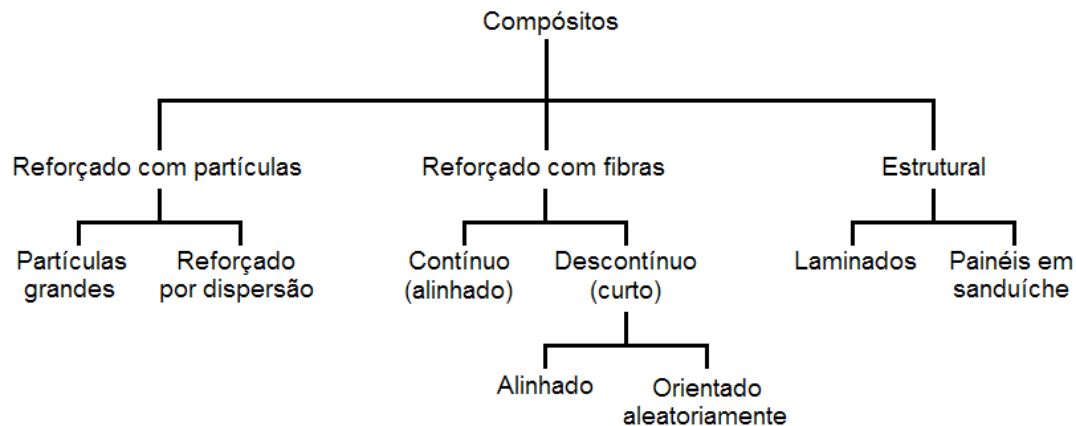
Compósitos são os materiais fabricados a partir da combinação de uma matriz aglutinante com um reforço. Normalmente, combina-se matriz e reforço com determinadas propriedades mecânicas, idealizando que o novo material originado tenha propriedades superiores aos componentes isolados (CALLISTER JR; RETHWISCH, 2016). Cada componente do compósito tem uma função específica. A matriz distribui a carga pelo compósito e o reforço tem como principal função resistir aos esforços solicitados (SMITH; HASHEMI, 2012).

Seus componentes diferem química e fisicamente sendo normalmente, insolúveis um no outro (CALLISTER JR; RETHWISCH, 2016). A propriedade do compósito depende diretamente das propriedades dos seus constituintes, mas também, do grau de ligação entre eles através da interface (CALLISTER JR; RETHWISCH, 2016). Como Shetty et al. (2017) demonstram em sua pesquisa, os materiais compósitos estão sendo amplamente utilizados, principalmente pelas indústrias aeroespacial e automotiva, onde se exigem materiais com boa relação resistência-peso.

Existem basicamente três tipos de materiais compósitos, que diferem entre si na maneira de disposição e tamanho das cargas presentes na matriz, sendo estes basicamente divididos em: compósitos reforçados por fibras (têm fibras resistentes envolvidas por uma matriz, normalmente amorfa, que protege e orienta as fibras); compósitos particulados (envolvem partículas grandes, dispersas em uma matriz); e compósitos estruturais (envolvem camadas alternadas de material unidas umas às outras) (Figura 2) (CALLISTER JR; RETHWISCH, 2016).

As fibras empregadas como reforços na maioria dos casos, podem ser compostas de materiais poliméricos, cerâmicos e metálicos, oriundos de fontes naturais ou sintéticas, com tamanho contínuo, longo ou curto, arranjos aleatoriamente ou organizados em algum tipo de padrão no compósito. As fibras sintéticas são as mais usadas pela indústria, sendo a fibra de vidro a de maior destaque, principalmente por possuir ótimas propriedades químicas, mecânicas e térmicas, com baixo custo em relação a outras fibras artificiais (NANDARAGI; REDDY; NARAYANA, 2018; CALLISTER JR; RETHWISCH, 2016).

Figura 2 – Classificação dos materiais compósitos



Fonte: Callister Jr. e Rethwisch (2016, p. 583)

Segundo Callister Jr. e Rethwisch (2016), os compósitos reforçados com fibras geralmente têm como principal propósito obter uma alta resistência e/ou rigidez em relação ao peso. A utilização de fibras naturais em um compósito também objetiva a otimização das propriedades mecânicas do material. Contudo, a principal finalidade é fazer com que o mesmo atue como um reforço de material reciclável e de baixo custo à matriz (ELANCHEZHIAN, et al. 2018).

Para a matriz, os polímeros são os materiais mais usados, principalmente devido a sua diversidade, oferecendo uma gama de combinações e propriedades desejadas (CHUNG, 2019). Entre eles, o polietileno de alta densidade destaca-se, pois além do baixo custo, apresenta boas propriedades mecânicas, resistência química e fácil conformação (CHUNG, 2019; SAVAS; TAYFUN; DOGAN, 2016)

Pelas diversas possibilidades de combinações de materiais, a aplicação de compósitos é ampla, seja na construção civil, na área automotiva, aeroespacial, recreação e lazer, bens de consumo e eletrônica dentre outros (SHARMA, 2018). Pensando em sustentabilidade, os materiais compósitos podem gerar soluções para problemas de descarte e desperdício. Estudos nessa área têm crescido cada vez mais e há uma tendência forte de substituição de materiais usuais por compósitos sustentáveis (CALEGARI; OLIVEIRA, 2016).

O presente trabalho fez uso de reforço do tipo fibra descontínua, orientadas aleatoriamente, proporcionando materiais isotrópicos, ou seja, suas propriedades mecânicas são as mesmas em todas as direções. Contudo, essa aleatoriedade depende muito do tipo de processamento para a confecção do compósito. Além disso, outras variáveis importantes são: volume de fibras, ou seja, a quantidade em massa que a fibra representa na composição do compósito; composição e propriedades; e o seu comprimento. Normalmente fibras mais longas propiciam melhores propriedades mecânicas (KALIA et al., 2013).

Contudo, umas das questões mais relevantes na fabricação de compósitos reforçados com fibras naturais é a ligação entre o reforço e a matriz. Tendo em vista que a natureza hidrofílica das fibras naturais frequentemente resulta em baixa compatibilidade com as matrizes poliméricas hidrofóbicas. Normalmente são realizadas funcionalizações no tecido ou aplicados agentes de acoplamento na mistura para melhorar a ligação fibra/matriz (KALIA et al., 2013).

2.2.1 Compósito de matriz polimérica

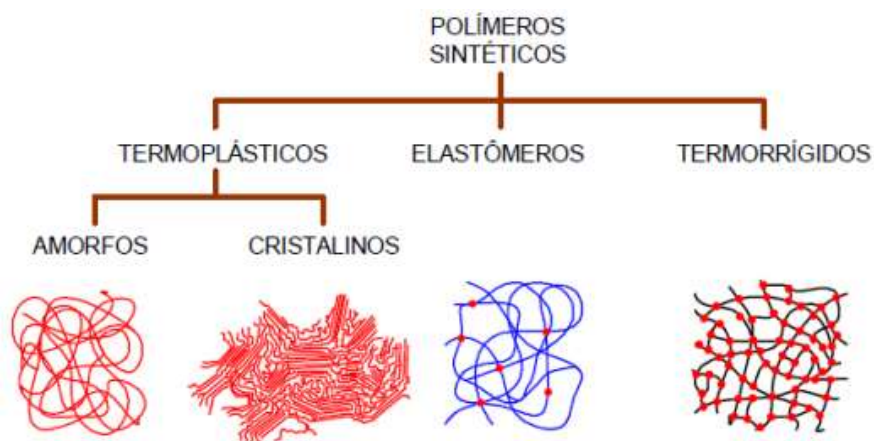
Os polímeros são materiais orgânicos produzidos por processos de polimerização, que agem unindo as menores estruturas de uma molécula polimérica, chamadas de mero. Quanto mais meros constituem uma molécula polimérica, maior o grau de polimerização do material, elevando suas propriedades mecânicas, mas dificultando seu processamento (CALLISTER JR; RETHWISCH, 2016; ASKELAND; WRIGHT, 2014).

Os meros formam as cadeias poliméricas, e de acordo com a organização e os tipos de ligações entre elas, constituem diferentes tipos de polímeros. As ligações entre os meros formam grandes cadeias, que apesar de alguns autores classificarem como cadeias lineares, sua organização é aleatória (Figura 3).

O tipo de organização e ligação entre essas cadeias formará polímeros de famílias diferentes. Os termorrígidos possuem ligações cruzadas em todas as direções, que uma vez estabelecidas é necessário muito energia para quebrá-las. Logo, o processo de cura da transformação do material é irreversível, tornando o material rígido,

infusível, insolúvel e não reciclável (CALLISTER JR; RETHWISCH, 2016; ASKELAND; WRIGHT, 2014).

Figura 3 – Estrutura intermolecular dos polímeros sintéticos



Fonte: Askeland e Wright (2014)

Os termoplásticos apresentam ligações fracas do tipo Van der Waals entre as cadeias, tornando o material dúctil e de fácil conformação. Podem apresentar estruturas parcialmente cristalinas e amorfas, são recicláveis, fusíveis e solúveis. São muito utilizados como materiais de engenharia, principalmente por apresentarem uma ótima relação resistência/peso, com baixo custo e fácil transformação, destacando-se o polietileno, atualmente o polímero mais utilizado no mundo (CALLISTER JR; RETHWISCH, 2016; ASKELAND; WRIGHT, 2014).

Os polímeros empregados como matriz para compósitos também são conhecidos como resinas, entre suas atribuições, a principal é manter as fibras e/ou tecidos na orientação adequada para suportar as cargas desejadas, mas também podem exercer funções mecânicas, térmicas, acústicas e elétricas (SABA; JAWAID, 2018). Assim, a estabilidade térmica, a temperatura máxima de serviço e as propriedades de isolamento do material, são determinadas principalmente pela matriz que o constitui (LEUNG, 2018). Portanto, a distribuição da carga de maneira uniforme pelo compósito é papel da resina, servindo como uma barreira à propagação de trincas, sendo responsável pela resistência ao cisalhamento interlaminar do compósito

(ZHANG; LI, 2016). Além disso, compósitos de matriz polimérica aliam a resistência das fibras com a ductilidade da matriz, oferecendo diversas possibilidades de combinações e de propriedades. (ZHANG; LI, 2016).

Um dos fatores mais importantes ressaltados por Ku et al. (2011) em sua revisão, é que as propriedades de tração de compósitos poliméricos reforçados com fibras naturais são influenciadas principalmente pela adesão interfacial entre fibra e matriz. Também, Sood e Dewivedi (2018) demonstraram em sua pesquisa a importância do tratamento superficial das fibras naturais para melhorar a adesão a matriz, com o intuito de otimizar as propriedades de flexão do compósito, isso porque a diferença de polaridade entre os componentes dificulta sua ligação.

2.2.1.1 Compósito de polietileno

O polietileno (PE) é o termoplástico mais usado na atualidade, representando cerca de 32% do emprego de polímeros a nível mundial. Em 2017 o consumo brasileiro de PE foi de 2320 milhões de toneladas, aplicados principalmente em embalagens, mas também em brinquedos, peças da indústria automotiva, entre outras milhares de possibilidades (ABIPLAST, 2018).

Como o próprio nome sugere, ele é formado através da polimerização dos meros de etileno que, de acordo com a organização da estrutura molecular, ocasionam diferentes tipos de PE (CALLISTER JR; RETHWISCH, 2016). Os mais utilizados são o polietileno de alta densidade (PEAD) e o polietileno de baixa densidade (PEBD), que se diferem pelo nível de cristalinidade em sua estrutura e o tipo de cadeia, sendo o PEAD mais cristalino, ocasionando um polímero mais rígido e resistente (Tabela 1) (SOGANCIOGLU; YEL; AHMETLI, 2017).

De modo geral, o PEBD é destinado para aquelas aplicações que exigem flexibilidade e transparência, enquanto que o PEAD atende às aplicações que exigem rigidez e resistência mecânica. Contudo, há situações onde a resistência requerida é maior que a capacidade do polietileno e dessa forma, a adição de fibras poderia aprimorar suas propriedades (ASKELAND; WRIGHT, 2014; CALLISTER JR; RETHWISCH, 2016).

Tabela 1 – Algumas propriedades do polietileno de baixa densidade (PEBD) e polietileno de alta densidade (PEAD)

Propriedade	PEBD	PEAD
Temperatura de fusão (T _m) (°C)	110-125	130-135
Densidade (g/cm ³)	0,91-0,94	0,94-0,97
Resistência à Tração (MPa)	6,9-16	20-45
Dureza Rockwell R	10	65
Alongamento máximo (%)	100-800	50-900
Modulo de Flexão (GPa)	0,06-0,5	0,7-1,5
Resistência à Flexão (MPa)	-	18-28
Resistência ao Impacto (J/m)	-	15-43
Modulo de Young (GPa)	0,25	1,0

Fonte: Coutinho et al. (2003, p. 3)

De modo geral, o PEBD é destinado para aquelas aplicações que exigem flexibilidade e transparência, enquanto que o PEAD atende às aplicações que exigem rigidez e resistência mecânica. Contudo, há situações onde a resistência requerida é maior que a capacidade do PE e dessa forma, a adição de fibras poderia aprimorar suas propriedades (ASKELAND; WRIGHT, 2014; CALLISTER JR; RETHWISCH, 2016).

Aji et. al (2013), utilizaram como reforço para o PEAD fibras de cânhamo e folhas de abacaxi, realizando a funcionalização das fibras para promover uma maior capacidade mecânica do compósito, mantendo constante o volume de fibras em 40%. Demonstrando que com uma proporção percentual igual das fibras, houve ganhos de resistência nos testes de tração (30 MPa) e flexão (28 Mpa), contudo, o maior valor de resistência ao impacto (9 kJ/m²) foi obtido com uma proporção de 60% cânhamo/40% folha de abacaxi. Concluindo que a fibra de folhas de abacaxi ajudou o compósito nas propriedades de tração e flexão, o cânhamo forneceu resistência ao impacto e na redução da absorção de água.

Zhang et al. (2019), fizeram um comparativo de compósitos de PEAD reforçados com fibras de casca de amendoim, arroz e noz. Verificaram que o compósito com casca de arroz apresentou melhores propriedades mecânicas em comparação com os outros

dois materiais - 16 MPa de resistência à tração, 15 kJ/m² de resistência ao impacto e ainda, uma interface de ligação entre os componentes mais lisa e uniforme.

Elzubair e Suarez (2012) investigaram o efeito do tratamento da fibra de piaçava (palmeira nativa da Amazônia) como reforço a matriz de PEAD. Utilizando o processo de molde por injeção e proporções variadas de fibra (0-20% em massa), definiram que as propriedades mecânicas do compósito melhoraram de acordo com o aumento da porcentagem de fibra, apresentando com 20% do volume em fibras 22,76 MPa de resistência à tração e 27,81 MPa de resistência à flexão.

2.2.1.2 Compósito de polietileno verde

A utilização de polímeros aumenta gradativamente a cada ano e, conseqüentemente o seu descarte, ocasionando um grave problema ambiental. Segundo a Abiplast (2017), o consumo de polímeros no Brasil foi de 6,5 milhões de toneladas, e apesar da evolução do índice de reciclagem, este reaproveitamento não chega a 30%.

Para diminuir o impacto ambiental gerado pelo aumento do emprego e do descarte de polímeros, se faz necessário a utilização de soluções ambientalmente corretas, como biopolímeros, polímeros biodegradáveis e polímeros verdes (LIU, et al., 2019; BRITO, et al., 2011). Sintetizados a partir da cana-de-açúcar, o PE e o PVC (policloreto de vinila) ganham a nomenclatura de polímeros verdes, pois são materiais que normalmente são polimerizados utilizando matéria-prima proveniente de fontes fósseis (BRITO, et al., 2011).

O polietileno verde foi desenvolvido no Centro de Tecnologia e Inovação da Braskem, empresa brasileira que atua no setor petroquímico. O processo de transformação começa pela desidratação do etanol, resultando no eteno, matéria prima então polimerizada para a produção do PE verde, gerando apenas água e componentes oxigenados como subprodutos (BRASKEM, 2017).

Não utilizar polímeros provenientes de origens fósseis reduz a emissão de CO₂ na atmosfera, pois de acordo com Brito et al. (2011), na produção de 1 tonelada de polietileno oriundo do nafta, são liberadas em média 2,5 toneladas de dióxido de

carbono. Segundo a Braskem (2017), graças à essa tecnologia é possível produzir qualquer tipo de polietileno através da cana de açúcar, mantendo as mesmas propriedades, desempenho, versatilidade de aplicações do polímero tradicional, sendo reciclável e ainda contribuindo para a redução do efeito estufa.

Como o PE verde pode ser usado em qualquer aplicação do PE convencional, seu uso como matriz para compósitos é possível e necessário quando se abordam questões ecológicas. Boronat et al. (2015) desenvolveram um compósito sustentável com PE verde e carga de casca de ovo modificada, melhorando a adesão do conjunto com titanato. Os pesquisadores realizaram ensaios mecânicos, onde encontraram melhores propriedades em relação ao PE verde nos módulos de tração e flexão, 439 MPa e 1021 MPa respectivamente, comprovando que a adição da carga melhorou efetivamente as propriedades do material.

Castro, Ruvolo-filho e Frollini (2012) reforçaram o PEAD verde com fibra de carauá (Bromélia Amazônica), fabricando o material em um misturador seguido por termopressão e, avaliando suas propriedades com e sem polibutadieno como agente compatibilizante. O compósito apresentou a maior resistência à flexão sem a presença do compatibilizante (24 MPa). O polibutadieno melhorou a adesão fibra/matriz, otimizando a resistência ao impacto do compósito.

Kuciel, Jakubowska e Kuzniar (2014) avaliaram as propriedades estruturais dos compósitos de PEAD verde reforçados com quatro cargas diferentes: farinha de madeira, pó ultrafino de celulose, fibras de kenaf picadas e micropartículas minerais. Baixa densidade, aumento da rigidez, melhor resistência à deformação no calor e estabilização das propriedades térmicas dentro das temperaturas de uso foram as principais vantagens dos biocompósitos comparados ao PE verde puro.

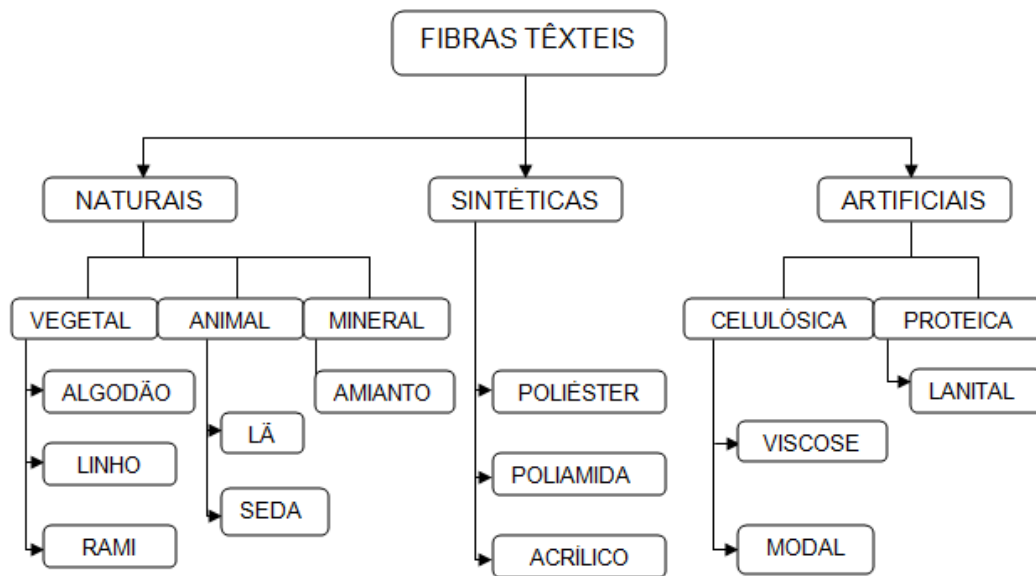
Apesar dos aparentes benefícios do biopolímero, ainda há uma carência de pesquisas relacionadas à utilização do polietileno verde como matriz para compósitos. Não foram encontradas pesquisas utilizando fibras têxteis como reforço para o PE verde, salientando a importância do presente estudo.

2.3 REFORÇO TÊXTIL

É nomeado como fibra têxtil qualquer material de origem natural ou sintética passível de ser fiado ou tecido (ECHEVERRIA et al., 2019). Normalmente possuem alta razão comprimento/diâmetro e características como flexibilidade, suavidade, resistência, tenacidade, finura e elasticidade (ECHEVERRIA et al., 2019; CONMETRO, 2008).

As fibras podem ser de origem natural, provenientes de animais, vegetais ou minerais; artificiais, oriundas de polímeros naturais regenerados, por exemplo a viscose e o acetato; e ainda, sintéticas, que são resultados das reações de polimerização (Figura 4) (ECHEVERRIA et al., 2019; ANDRADE; BORELLI; GIACOMINI, 2014).

Figura 4 – Classificação das fibras têxteis



Fonte: ANDRADE, BORELLI e GIACOMINI (2014)

A fibra de algodão, de natureza hidrófila, origina-se de uma planta denominada algodoeiro (ABRAPA, 2013). É a fibra mais utilizada no mundo para a confecção de roupas, representando quase 50% da matéria prima total empregada pelo setor. Seu

comércio movimenta cerca de US\$ 12 bilhões/ano e envolve mais de 350 milhões de pessoas em sua produção, sendo o Brasil um dos principais produtores (ABIT, 2017; ABRAPA, 2013). Composta basicamente de celulose (82,7-90%), lignina (0,75%) e umidade, possui alta tenacidade, boas propriedades mecânicas e baixo custo (BORSOI et al., 2011).

O poliéster é uma fibra sintética, composta por éster de álcool dihidrico e ácido tereftálico. É hidrofóbico, ou seja, sua absorção de umidade é baixa, possuindo alta resistividade, sendo um bom isolante térmico, muito utilizado para a confecção de roupas e sacos de dormir (ANDRADE; BORELLI; GIACOMINI, 2014). Dentre às sintéticas é a mais utilizada pelo setor têxtil e a união das fibras de algodão e poliéster representam boa parte da confecção de roupas (ABIT, 2017; ABRAPA, 2013).

O uso de fibras têxteis como reforço para compósitos se justifica principalmente pela necessidade de reutilização de materiais que teriam como destino os aterros sanitários, ou descartados de maneira indevida (NAJAFI; NASRI; KOTEK, 2017; BORSOI et al., 2011). Contudo, o objetivo primordial da confecção de materiais compósitos é obter um material com melhores propriedades em relação aos seus constituintes separados (Tabela 2).

Tabela 2 – Propriedades das principais fibras têxteis

Propriedade	Algodão	Poliéster
Densidade (g/cm ³)	1,5-1,6	1,04-1,46
Alongamento (%)	7,0-8,0	18-75
Resistência à Tração (MPa)	287-597	35-100
T _m (°C)	-	265
Condutividade Térmica	Moderada	Baixa
Modulo de Young (GPa)	5,5-12,6	2,1-4,4

Fonte: Lau et al. (2018, p. 223)

Existem outras importantes fibras têxteis, como a poliamida, elastano, nylon, porém o presente trabalho focará apenas nas fibras de algodão e poliéster, pois são em volume, as mais empregadas pelo segmento (ABRAPA, 2013). Analisando previamente às propriedades das fibras, se pode considerar que é possível o processamento do

PEAD verde com as fibras têxteis, uma vez que a temperatura de fusão da matriz é inferior à temperatura das fibras, salientando que o algodão começa a se deteriorar a partir de 185 °C.

Malhotra, Sheikh e Rani (2012), ressaltaram em sua revisão bibliográfica, que a utilização de fibras naturais como reforço para polímeros apresenta boas possibilidades de mercado em um futuro próximo. Arpitha e Yogesha (2017) salientam a importância e a capacidade da aplicação de fibras naturais como reforço para polímeros, possíveis aplicações na construção civil e para aplicações mais comuns onde se exige uma boa resistência do material.

Lau et al. (2018) apresentaram em sua pesquisa a dificuldade de interação entre as fibras naturais como o algodão com matrizes poliméricas, visto que a natureza hidrofílica da fibra e hidrofóbica da matriz causa uma diferença de polaridade, dificultando a ligação entre os materiais. Sood e Dewivedi (2018) também demonstraram em sua revisão a importância do tratamento superficial das fibras de celulose para melhorar a adesão à matriz, com o intuito de otimizar as propriedades de flexão do compósito, dando destaque para os tratamentos alcalinos, que agem direto na parede da fibra, proporcionando maior estabilidade dimensional, reduzindo a capacidade de absorção de água.

Elcheverria et al. (2019), confeccionaram um compósito utilizando resíduos da indústria têxtil para reforçar polipropileno. Para isso, misturaram resíduos de algodão, lã, poliéster e nylon triturados e orientados de maneira aleatória. Fabricado através do método de compressão a quente, usando anídrico maleico como agente de acoplamento, os compósitos com 40% de reforço em peso foram os que obtiveram a melhor resistência à flexão (34,9 MPa).

Petrucci et al. (2015), desenvolveram um compósito laminar com resíduos de algodão e matriz de polipropileno, modificando a estrutura da fibra com acetato de polivinilo, possibilitando uma melhora na resistência à tração (31,89 MPa) em relação a matriz isolada. Borsoi et al. (2011), demonstraram que com 20% de percentual de fibras de algodão como reforço para poliestireno. O material obteve um aumento de resistência em relação ao polímero puro, atingindo 51 MPa de resistência à tração e 250 J/m de resistência ao impacto.

Oliveira, Macedo e Rosa (2019), avaliaram a ecoeficiência de um compósito de poliácido láctico (PLA) reforçado com diferentes proporções de fibra de algodão. Depois de analisado todo o ciclo de vida dos produtos, logísticas, matéria prima e descarte dos processos, concluíram que quanto maior a proporção do algodão, menor é o impacto ambiental. Peña-Pichardo et al. (2018), utilizaram resíduo de calça jeans 100% algodão como reforço para matriz de poliéster, com tratamento superficial por irradiação gama para as fibras. Os resultados demonstraram uma melhora de 40% na resistência à compressão e 7% na resistência à flexão.

Outro fator importante a ser considerado entre a interface de resíduos têxteis e matrizes poliméricas é a presença de corantes e tinturaria nos tecidos, Serra et al. (2017) realizaram um estudo com resíduos de algodão como reforço para o polipropileno, fazendo uso da moldagem por injeção para a conformação do compósito. Verificaram que a presença de corantes aumentou a afinidade entre os componentes, por outro lado, limitou o efeito de agentes de acoplamento e tratamentos superficiais nas fibras.

Os estudos apresentados demonstram a dificuldade de ligação das fibras naturais com matrizes poliméricas, principalmente devido ao caráter hidrofílico das fibras e hidrofóbico das matrizes poliméricas, causando uma diferença de polaridade entre os constituintes, que pode ser minimizada de acordo com a tinturaria aplicada no tecido. Além da modificação superficial, o tipo de processamento adotado para a confecção do compósito pode diminuir os problemas de interface entre os materiais constituintes, melhorando a ligação entre eles (BALLA et al., 2019).

2.4 PROCESSAMENTO DOS COMPÓSITOS

Mesmo sendo um passo muito importante no processamento de compósitos reforçados com fibras naturais, para reforçar o apelo ambiental da presente pesquisa, não foi realizado nenhum tratamento superficial nas fibras, diminuindo a utilização de químicos e processos que podem ser danosos ao meio ambiente. Dessa forma, o tipo de processo empregado para conformação do material se torna essencial, visto que a dificuldade de interação entre a fibra natural e a matriz polimérica pode ser diminuída

adotando os processos e parâmetros mais adequados para a união dos constituintes (BALLA et al., 2019).

Existem diversos processos possíveis para a produção de materiais compósitos empregando fibras naturais. Dentre os mais utilizados estão: i) prensagem a quente; ii) moldagem por injeção, iii) moldagem por transferência de resina; iv) moldagem por compressão e; v) moldagem por infusão a vácuo. Porém, esses processos foram projetados para a conformação de compósitos reforçados com fibras sintéticas, tornando um desafio encontrar os melhores procedimentos para a confecção de compósito aplicando fibras naturais, principalmente por apresentarem baixa estabilidade (HO et al., 2012).

Além da interação entre os constituintes, outros fatores também são extremamente importantes para alcançar o desempenho mecânico desejado, como controlar a distribuição, a concentração e o comprimento das fibras dentro da matriz. Em geral, a quantidade de fibra e suas características, como comprimento, razão largura/diâmetro e composição, têm forte influência na qualidade do compósito (BALLA et al., 2019).

Dessa forma, questões críticas relacionadas ao processamento estão diretamente ligadas às características e propriedades das fibras aplicadas. Como estabilidade térmica das fibras naturais (temperatura de degradação), hidrofobicidade, baixa resistência levando a quebras, absorção de umidade e distribuição das fibras na matriz (POLLETO; ORNAGHI; ZATTERA, 2014).

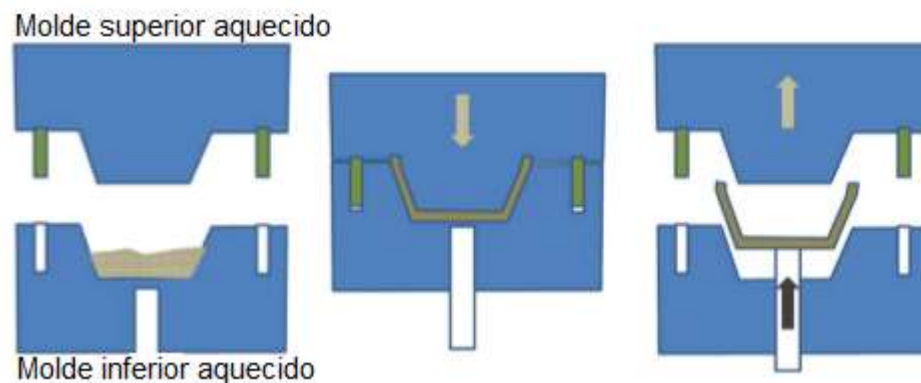
Quando é aplicado como reforço fibras descontinuas, organizadas aleatoriamente, o processo de mistura destas com a matriz passa a ser uma etapa essencial para obter uma distribuição mais uniforme do reforço na matriz e uma maior homogeneidade do compósito. Apesar das fibras descontinuas não apresentarem de uma maneira geral propriedades mecânicas correspondentes as fibras contínuas, sua utilização propicia uma versatilidade maior de escolha de processos possíveis, como a extrusão e a injeção e ainda oportuniza a confecção de materiais com propriedades isotrópicas (PUJADAS et al., 2014).

2.4.1 Prensagem a quente

É um processo muito usado para a conformação de compósitos poliméricos, sendo uma simplificação da moldagem por compressão, pois normalmente produz chapas ao invés de geometrias mais elaboradas que a compressão possibilita através do uso de moldes. Molda peças com espessura variada, fazendo uso simultâneo de pressão e temperatura para conformar o material de acordo com o molde empregado (Figura 5).

Neste processo podem ser aplicados todos tipos de matrizes poliméricas e fibras para a conformação de um compósito, contudo, é necessário ter um alto controle dos parâmetros de temperatura e pressão para garantir a integridade dos materiais constituintes. Contudo, uma das principais desvantagens deste processo é distorção recorrente das peças, porém, de acordo com o processo de mistura anterior, possibilita uma aplicação de até 90% fibras no material (BALLA et al., 2019).

Figura 5 – Processo de prensagem a quente



Fonte: Balla et al. (2019, p. 10)

Durante o processo de pressão, tempo de retenção, viscosidade do material e temperatura devem ser controlados, a fim de obter a melhor ligação das fibras com a matriz e o preenchimento de todos os espaços do molde. Muitos defeitos podem aparecer, ocasionados principalmente pela escolha errada de parâmetros e o fluxo irregular do material, como vazios, bolhas, tensões residuais, quebra de fibra e

empenamento, diminuindo drasticamente as propriedades mecânicas do compósito (BALLA et al., 2019).

Filkler et al. (2005) usaram o misturador Drais, um equipamento empregado para homogeneizar misturas através da alta rotação do seu eixo e do atrito entre os materiais com as paredes internas da zona de mistura. Seguido de prensagem a quente para conformar um compósito de fibras de algodão e fibras de acrílico como reforço para o polietileno de alta densidade, concluindo que o compósito apresentou uma ótima resistência a tração (31 MPa) e flexão (37 MPa), sendo uma boa solução para a indústria moveleira. Da Silva et al. (2019), misturaram até 15% de lignina kraft com PLA em um misturador drais e conformaram o material em uma prensa térmica, avaliando posteriormente a melhora na biodegradação do material, constatando a uniformidade que o processo proporcionou.

Sayeed, Sayem e Haider (2019), analisaram as técnicas de fabricação para biocompósitos reforçados com fibra de juta, destacando que a prensagem a quente é o método mais simples e de fácil aplicação, contudo, ele não é apropriado para uma produção em larga escala. Sanjay et al. (2018), realizaram uma revisão abrangente dos processos utilizados na produção de compósitos reforçados com fibras naturais. Concluindo que as propriedades mecânicas são intrínsecas ao processo empregado e ainda, demonstraram que a prensagem térmica é a técnica mais aplicada e que a injeção vem ganhando espaço no desenvolvimento de compósitos com fibras naturais.

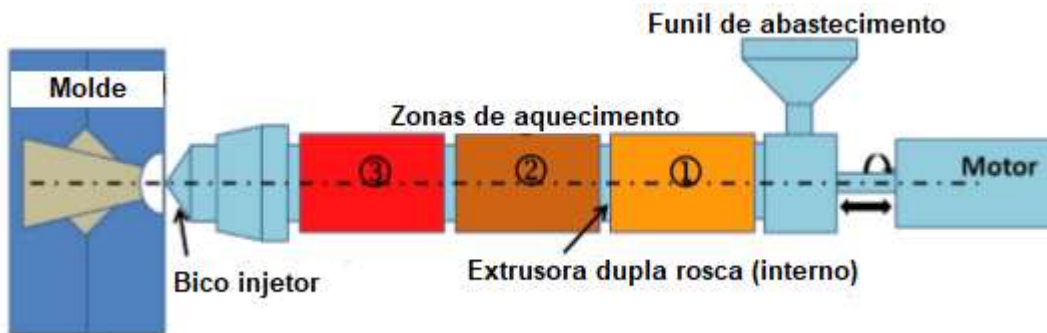
2.4.2 Moldagem por injeção

A moldagem por injeção vem ganhando notoriedade na confecção de materiais compósitos reforçados com fibras naturais, principalmente porque é uma técnica que possibilita o desenvolvimento de peças com geometrias complexas e em larga escala. A matéria prima utilizada para abastecer o processo deve estar na forma de grânulos, conseqüentemente, para permitir a composição, as fibras são encurtadas até viabilizarem o processo (SHAH, 2013).

Os grânulos são aquecidos, misturados e depois transportados em direção ao molde através de uma extrusora dupla rosca (Figura 6). Geralmente, durante esta fase de mistura, o dano à fibra natural é máximo devido ao atrito entre os componentes e a

extrusora, podendo também ocorrer danos às fibras no orifício da matriz e nas portas do molde (AZAMAN et al., 2013).

Figura 6 – Processo de moldagem por injeção



Fonte: Balla et al. (2019, p. 10)

A mistura é acumulada no final do parafuso da extrusora para que quando haja material compactado o suficiente, este seja injetado no molde, mantendo-se a pressão até que a peça solidifique e esfrie. Para obter o melhor material possível é importante controlar velocidade e pressão da injeção, a temperatura nas zonas de aquecimento, que não apenas controlam a qualidade geral da peça, mas também suas propriedades mecânicas (SERRANO et al., 2013).

De maneira geral, as fibras exibem uma orientação padrão devido ao fluxo de material na injeção, diminuindo a isotropia das peças, também, quando em comparação com a prensagem a quente, esta técnica aceita um volume menor de fibras no seu processamento, podendo chegar até 40% de acordo com a fibra. No entanto, a injeção oferece várias vantagens para o desenvolvimento de compósitos, como formas mais complexas, peças mais homogêneas, baixa distorção e retração, perda mínima de material, alta produtividade e ótimo acabamento superficial (BALLA et al., 2019).

Pappu, Pickering e Thakur (2019), aplicaram a técnica de injeção para conformar um compósito de PLA reforçado com 30% de fibra híbrida de sisal e cânhamo, obtendo ótimas propriedades mecânicas, 46,25 MPa de resistência à tração e 94,83 MPa de resistência à flexão, aprimorando o PLA puro. Carbonell-Verdú et al. (2015),

conformaram um compósito de PEAD reforçado com fibra de ardósia através da moldagem por injeção, fazendo uso de 30% da massa de fibras, obtendo 16% de melhora na resistência a tração e 18% na resistência à flexão.

Sood, Deepak e Gupta (2018), empregaram a injeção para fabricar compósitos com uma mistura de polietileno de alta densidade reciclado e virgem, acrescentando até 30% em peso de fibra de sisal tratadas com anídrico maleico. Houve um decréscimo na resistência à tração de 50% em relação ao material sem o reforço.

Analisando os estudos demonstrados, é possível ver a viabilidade de aplicação dos processos mencionados para o desenvolvimento do compósito de polietileno verde reforçado com resíduo têxtil. A comparação realizada pelo presente estudo é pertinente visto que, ainda faltam pesquisas para demonstrar as melhores técnicas e procedimentos visando uma futura aplicação industrial de compósitos reforçados com fibras naturais.

3 METODOLOGIA

O presente estudo seguiu os preceitos da produção mais limpa e fez uso das práticas e ferramentas do gerenciamento de projetos como auxílio para o desenvolvimento do escopo, dos objetivos e definição das atividades pertinentes. A pesquisa consistiu em analisar o potencial mecânico dos resíduos têxteis como reforço para o polietileno verde de alta densidade.

Foram analisadas diferentes composições de resíduos, também, a influência da proporção reforço/matriz e ainda, dois processamentos diferentes, buscando encontrar as melhores variáveis para o material.

3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

A pesquisa foi de natureza aplicada, fazendo uso das teorias já existentes como referência para as atividades executadas (SANTOS, FILHO, 2011), aplicando na prática os conhecimentos estudados, visando a construção de um compósito.

Quanto aos objetivos, a pesquisa foi de caráter exploratório e explicativo. Exploratório, pois realizou um estudo preliminar para definir os objetivos, obtendo familiaridade com o assunto do trabalho desenvolvido e suas peculiaridades. E explicativa no que tange ao aprofundamento do conhecimento com a realidade, valendo-se do método experimental, onde foram fabricados corpos de prova para posterior aplicação de testes para avaliação técnica do material elaborado (GIL, 2010).

Quanto à abordagem, a pesquisa foi de caráter quantitativo e qualitativo, pois além de avaliar os resultados dos ensaios, também foi realizada uma análise prévia a olho nu para avaliar a qualidade do acabamento dos materiais e dos processamentos. Em relação aos procedimentos, foi experimental (GIL, 2010).

3.2 GERENCIAMENTO DE PROJETOS

O gerenciamento de projetos (GP) em sua essência é um conjunto de atividades temporárias, destinadas a produzir um produto ou serviço, realizadas normalmente em

grupo (PMBOK, 2013). Suas primeiras técnicas e ferramentas surgiram a partir de 1950, auxiliando em grandes projetos de construção civil, defesa e aeroespacial (ELLIS, 2016; KOLLTVEIT; KARLSEN; GRONHAUG, 2007).

A elaboração e implementação das práticas de gerenciamento é um grande diferencial em organizações que desenvolvem novos produtos e novos materiais, visto que estão inseridas em um meio extremamente competitivo. O planejamento de cada etapa é essencial na busca pela excelência. Permitindo o gerenciamento de maneira sistemática, minimizando os riscos e aumentando a probabilidade de sucesso para obtenção dos melhores resultados (HOLAHAN et al., 2014).

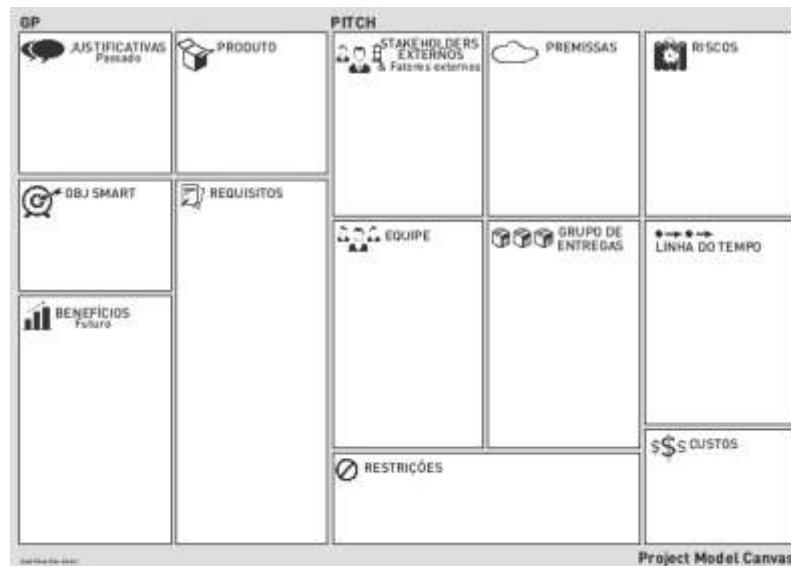
De maneira geral, o GP visa o controle das variáveis mais importantes presentes em cada projeto, chamadas de áreas de conhecimento, que são gerenciadas de maneiras distintas em cada fase do projeto. As áreas de conhecimento fornecem, através de documentos, a descrição detalhada das entradas e saídas de cada processo, suas ferramentas e atividades, facilitando o entendimento todas às partes interessadas (D'ÁVILA, 2015). Como cada projeto é peculiar, não existe uma única prática de desenvolvimento que atenda a todos, portanto, a escolha do processo a ser seguido deve ser determinada pelas características do projeto, diferenciando assim, as maneiras de gerenciamento (MEDEIROS et al., 2018).

Visando aumentar a agilidade e flexibilidade do gerenciamento de projetos, em 2001 um novo movimento ganhou importância. O “Gerenciamento Ágil de Projeto” trouxe a possibilidade de aumentar a eficiência da gestão de novos projetos, utilizando mais ferramentas visuais e interativas, simplificando a burocracia do método tradicional, permitindo mudanças mais ágeis no escopo (RASNACIS; BERZISA, 2017; SPUNDAK, 2014). A importância desta metodologia é tamanha, pois, em ambientes tecnológicos, no desenvolvimento de softwares, novos equipamentos e novos materiais, a incerteza é algo constante (HOLAHAN et al., 2014).

Um exemplo de metodologia ágil é o *Project Model Canvas* (PMC), que fornece uma ferramenta prática de organização de ideias, deixando claro os objetivos e as fases do projeto, tornando todos os processos rapidamente compreensíveis para qualquer pessoa. Visa substituir toda a documentação e burocracia exigidas no GP tradicional, fazendo uso de uma folha A1 e post-it (Figura 7), o quadro é preenchido em

sessões de brainstorming com a equipe do projeto, objetivando construir um plano de curto prazo, pragmático e objetivo (MALACHIAS, 2013).

Figura 7 – Modelo do *Project Model Canvas*



Fonte: Malachias (2013, p. 4).

Para o preenchimento do PMC alguns passos devem ser seguidos. Primeiramente a equipe de projeto deve responder as perguntas base do projeto: “Por quê?”, “O quê?”, “Quem?”, “Como?”, “Quando?” e “Quanto?”. Deve haver consistência e integração entre os blocos, evitando contradições, deixando claro qualquer informação pendente. Em conjunto com o PMC, podem ser desenvolvidos outros documentos do projeto, principalmente para facilitar o entendimento, como cronogramas, fluxograma e orçamento (MALACHIAS, 2013).

Eder et al. (2012), analisaram as melhores práticas de gerenciamento de projeto voltadas para o desenvolvimento de produtos inovadores utilizando o levantamento bibliográfico. Definindo as técnicas, ferramentas e práticas mais aplicadas no desenvolvimento do escopo das metodologias tradicional e ágil, concluindo que apesar da singularidade de cada, existem algumas semelhanças entre os métodos de gerenciamento.

Dessa forma, usando os estudos citados, esta pesquisa se baseou em técnicas de práticas de gerenciamento de projeto para auxiliar na definição e execução das atividades. Na seguinte seção foi desenvolvida a ferramenta de PMC em conjunto com o fluxograma das atividades pertinentes a este projeto, seguindo os procedimentos definidos por Malachias (2013).

3.2.1 Gerenciamento de projetos da pesquisa

Com a intenção de otimizar as definições e informações pertinente do projeto, foi desenvolvido para esta pesquisa um *Project Model Canvas* (Figura 8), tendo em vista que fazer uso das práticas de gerenciamento tradicional não trariam reais benefícios para este desenvolvimento, visto que toda documentação necessária atrasaria o andamento das atividades. A real intenção de formatar o PMC foi demonstrar de uma maneira simples e clara todas as informações realmente necessárias para o projeto, para que qualquer pessoa, mesmo que não tenha conhecimento técnico sobre o assunto, entenda a pesquisa, seus motivos e objetivos, apenas observando o documento.

Para sua elaboração foram seguidos os passos definidos por Malachias (2013), onde através de algumas sessões de *brainstorming* com as partes interessadas, as informações do documento foram completadas. Além de facilitar o entendimento do projeto, o PMC serviu como base para definir as atividades necessárias de cada etapa do estudo e para o desenvolvimento do fluxograma de elaboração do material.

Não foi realizada a fase de iniciação, tendo em vista que não condiz com um projeto de dissertação e com o gerenciamento ágil. A fase de controle foi concomitante à execução das atividades, com a finalidade de garantir maior agilidade no processo de criação do compósito, procurando diminuir as incertezas e amenizar os riscos, conforme proposto por Holahan et al. (2014). A fase de encerramento será demonstrada na seção de resultados, apontando as lições aprendidas com o estudo, os erros e acertos do planejamento demonstrado no PMC.

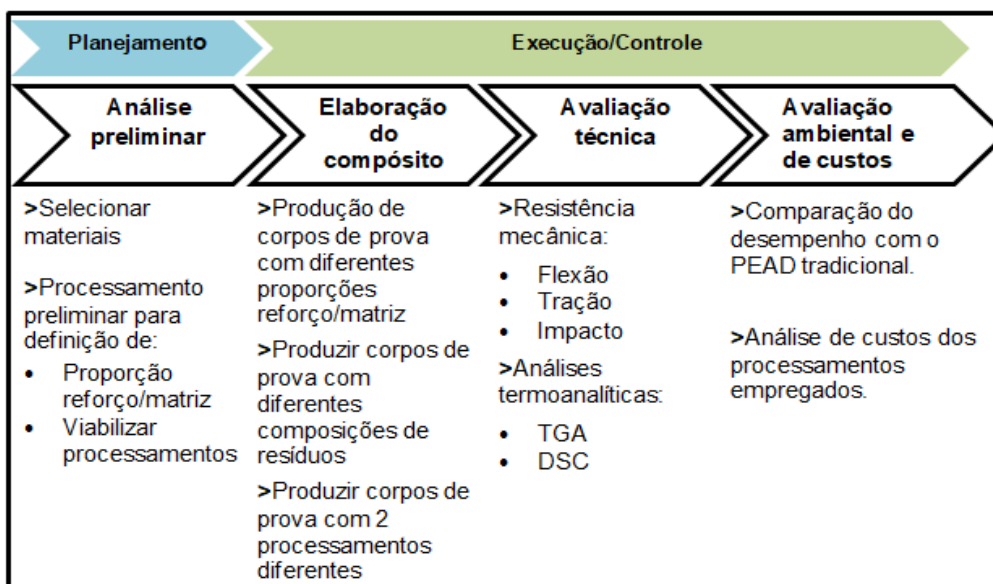
Após o desenvolvimento do escopo e das premissas com o Canvas, definiram-se as etapas da confecção do compósito (Figura 9), baseadas nas fases de um gerenciamento de projetos.

Figura 8 – Project Model Canvas base desta pesquisa



Fonte: Autor (2020).

Figura 9 – Etapas da pesquisa



Fonte: Autor (2020).

Não foi realizada a fase de iniciação, tendo em vista que não condiz com um projeto de dissertação e com o gerenciamento ágil. A fase de controle foi concomitante à execução das atividades, com a finalidade de garantir maior agilidade no processo de criação do compósito, procurando diminuir as incertezas e amenizar os riscos, conforme proposto por Holahan et al. (2014). A fase de encerramento será demonstrada na seção de resultados, apontando as lições aprendidas com o estudo, os erros e acertos do planejamento demonstrado no PMC.

Para o melhor entendimento da fase de elaboração do compósito, a Figura 10 demonstra o fluxograma de desenvolvimento dos corpos de prova. Apresentando as etapas do processamento, tendo em vista todas as variáveis investigadas e o escopo apresentado com o Canvas.

Inicialmente foi realizada uma análise preliminar, onde foram selecionados os materiais para formulação do compósito. Na sequência, desenvolvimentos preliminares foram realizados com o intuito de investigar a proporção reforço/matriz possível para cada método de fabricação.

Foram estudados dois métodos de processamento diferentes. Para ambos, a preparação do resíduo foi a mesma. O resíduo têxtil retirado do processo de corte foi desfibrado e junto com o PEAD verde, foram colocados em uma estufa para eliminar a umidade residual.

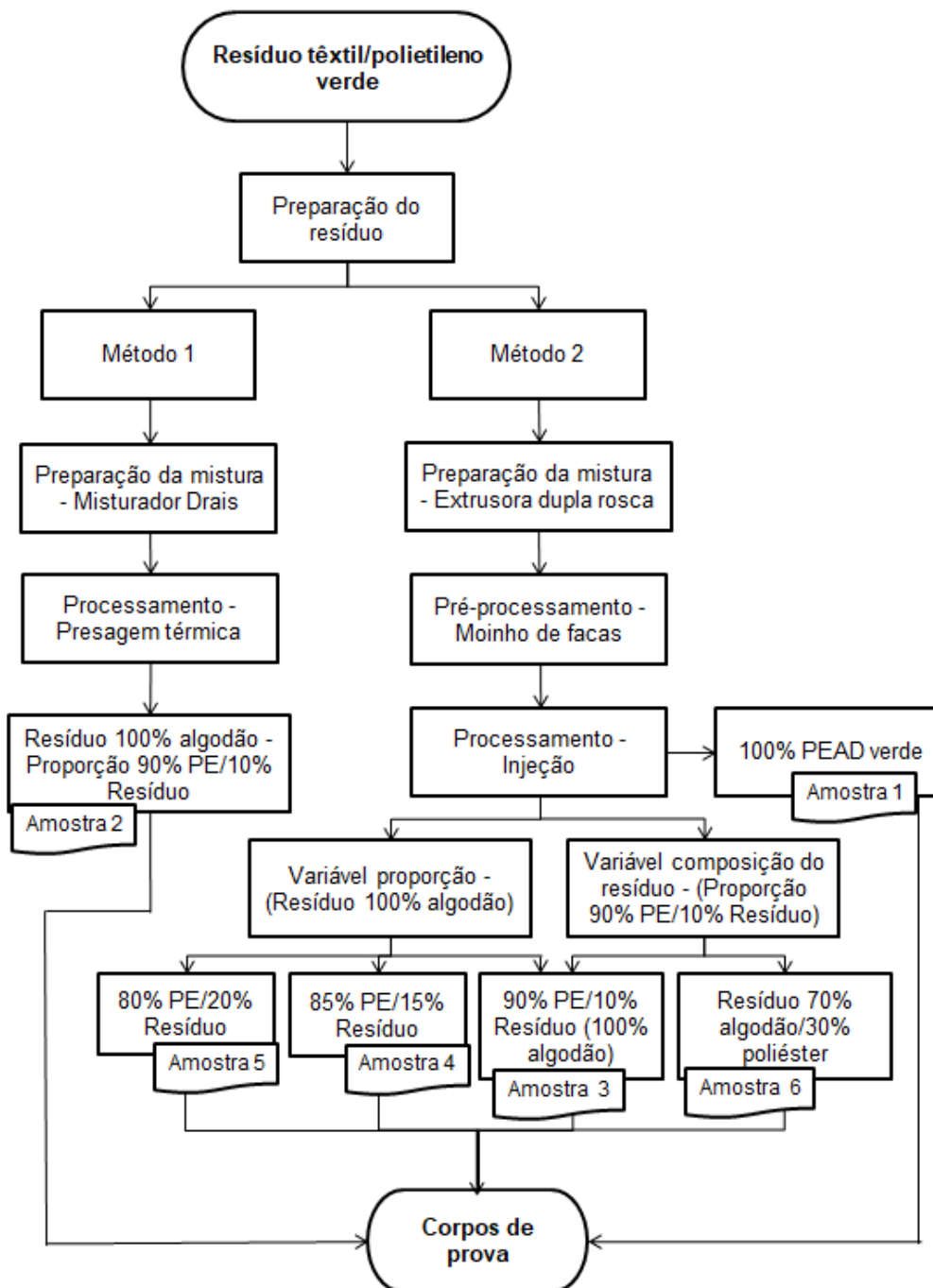
Após a preparação da fibra, cada processamento seguiu métodos distintos de mistura dos componentes e confecção do compósito. No método 1, a mistura resíduo/polímero foi realizada no misturador Drais. Na sequência, este material foi prensado a quente, obtendo uma chapa de onde foram usinados os corpos de prova.

No método 2, o polímero e a fibra foram misturados em uma extrusora de dupla rosca. O material obtido da mistura foi triturado no moinho de facas, resultando em grânulos de até 10 mm. Para a confecção dos corpos de prova, estes grânulos foram injetados em moldes com dimensões padronizadas.

Os corpos de prova desenvolvidos foram submetidos a análises termoanalíticas de TGA e DSC. Também ensaios mecânicos normalizados: flexão, segundo a norma

ASTM D790 - 17; tração, de acordo com a norma ASTM D638 - 14; e impacto izod, conforme a norma ASTM D256 - 10.

Figura 10 – Fluxograma de desenvolvimento dos corpos de prova



Os resultados foram utilizados para investigar as variáveis de proporção reforço/matriz, composição do resíduo e métodos de processamento. Para analisar a quantidade de fibra reforçando o polímero, foram aplicadas 10, 15 e 20% em massa de resíduo, confeccionadas com a injeção. Quanto à variável composição dos resíduos, foram investigadas as seguintes: 100% algodão e 70% algodão/30% poliéster. E ainda, os processamentos foram comparados analisando os resultados dos testes de corpos de prova reforçados com 10% de resíduo 100% algodão.

Após a avaliação técnica e a investigação das variáveis, foi realizada a análise de custo e a avaliação ambiental do compósito, confrontando o desempenho do material desenvolvido com o PEAD tradicional.

3.3 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS

- Polietileno verde de alta densidade, SHC7260, fornecido pela empresa Mais Polimeros;
- Resíduo têxtil de composição 100% algodão e 70% algodão 30% poliéster, fornecido pela Pitt Jeans de Santa Cruz do Sul;
- Equipamento do tipo desfibrador, da fabricante Seibt Máquinas para plásticos Ltda, UCS;
- Estufa de secagem 50 a 250°C, M. H. Equipamentos, UNISC e UCS;
- Moinho de facas, da fabricante M. H. Equipamentos Ltda, UCS;
- Misturador do tipo Drais, do fabricante M. H. Equipamentos Ltda, UNISC;
- Prensa térmica 20 toneladas, modelo MH-8-MT da fabricante M. H. Equipamentos Ltda, UNISC;
- Extrusora dupla rosca, MH-COR-20-32-LAB da M. H. Equipamentos Ltda, UCS;
- Injetora LH 150-80, da fabricante Himaco Hidráulicos e Máquinas Ltda, UCS;
- Balança termoanalítica, Shimadzu, modelo TGA-50, UCS;
- Equipamento de análise de DSC, Shimadzu, modelo DSC-60, UCS;
- Equipamento de ensaio universal, EMIC, modelo DL 3000, UCS;
- Máquina de ensaio de impacto IZOD, CEAST, modelo 6545/000, UCS;

3.3.1 Polietileno verde de alta densidade (PEAD)

O polímero aplicado na presente pesquisa foi o polietileno verde de alta densidade (Figura 11), do tipo SHC7260 para injeção, desenvolvido pela Braskem e fornecido pela Mais Polímeros. As propriedades do material são apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3 – Propriedades do polietileno verde de alta densidade (SHC7260)

Propriedades	Norma	Unidade	Valor
Índice de fluidez (190°C/2,16 kg)	ASTM D 1238	g/10 min	7,2
Densidade	ASTM D 792	g/cm ³	0,959
Tensão de escoamento	ASTM D 638	Mpa	30
Tensão de ruptura	ASTM D 638	Mpa	18
Modulo de flexão (secante a 1%)	ASTM D 790	Mpa	1375
Dureza (Shore D)	ASTM D 2240		60
Resistência ao impacto Izod	ASTM D 256	J/m	35
Temperatura de amolecimento Vicat	ASTM D 1525	°C	126
Temperatura de deflexão térmica	ASTM D 648	°C	73

Fonte: Brakem (2017).

Figura 11 – Aspecto do polietileno verde de alta densidade utilizado como matriz



Fonte: Autor (2020)

3.3.2 Resíduo Têxtil

Foi realizado um estudo na empresa Pitt Jeans de Santa Cruz do Sul, para verificar quais os tipos de fibras mais utilizados na confecção. Dessa forma, foi possível levantar que mais de 80% dos modelos desenvolvidos pela empresa tem pelo menos 90% de algodão em sua composição. Outros modelos produzidos levam mais de 20% de fibra de poliéster em sua estrutura, sendo a segunda fibra mais utilizada pela empresa e pelo setor têxtil de confecção de jeans.

Para ter um maior controle da qualidade e da uniformidade do compósito, foi selecionado um item com cada composição, para não ter variabilidade de espessura de fibras e diferentes tingimentos que poderiam ocasionar maiores inconstâncias nas análises. As informações dos tecidos desses itens foram coletadas com os fabricantes de cada tecido analisado (Tabela 4).

Tabela 4 – Resíduos têxteis utilizados como reforço

Resíduo	Composição	Resistência à tração (Mpa)	Tingimento
Tecido 1	100% algodão	312	Índigo + enxofre
Tecido 2	70% algodão / 30% poliéster	312/45	Índigo + enxofre

Fonte: Autor (2020).

Os resíduos foram coletados logo no fim do processo de corte, para garantir que nenhum outro tipo de resíduo fosse acondicionado junto com o material requisitado (Figura 12).

Corantes a base de enxofre são altamente insolúveis em água, isso porque são compostos macromoleculares com pontes de polissulfetos, essa estrutura serve como uma forma de tratamento superficial para a fibra de algodão, tornando-a mais hidrofóbica. São principalmente empregados como tinturaria para fibras celulósicas, conferindo uma vasta gama de cores uma ótima fixação, entretanto, são altamente tóxicos a natureza (BERRADI et al., 2019; GUARATINI; ZANONI, 2000).

Figura 12 – Resíduo têxtil aplicado como reforço para o compósito desenvolvido



Fonte: Autor (2020).

3.4 PREPARAÇÃO DO RESÍDUO TÊXTIL

Como não foi utilizado nenhum agente acoplador ou foi feito algum tratamento superficial nas fibras, para melhorar a ligação entre os componentes foi necessário aumentar a área superficial do resíduo. Com esse objetivo, o material foi desfibrado em um equipamento do tipo desfibrador (misturador plástico nº 16151), da fabricante Seibt máquinas para plástico Ltda, presente no laboratório de polímeros da Universidade de Caxias do Sul.

Figura 13 – Resíduo têxtil desfibrado



Fonte: Autor (2020).

Após o processamento durante 4 minutos, a uma rotação de 1765 RPM, foi obtido o resíduo desfibrado, com comprimento entre 40 mm e 100 mm, conforme a Figura 13, para a aplicação como reforço para o polietileno verde de alta densidade.

3.5 PREPARAÇÃO DA MISTURA

O compósito foi desenvolvido utilizando dois métodos de elaboração diferentes, com a intenção de avaliar as propriedades e o custo de cada processamento. A etapa anterior à preparação da mistura foi a mesma para ambos os processos. Nela o resíduo têxtil desfibrado e o PEAD foram colocados em uma estufa por 24 horas, a uma temperatura constante de 70°C, afim de retirar do material toda a umidade residual presente, para evitar possíveis deformidades no compósito por presença de umidade.

Ambos os processamentos foram realizados a uma temperatura ambiente controlada a 25°C e todos os procedimentos de manuseio e segurança exigidos pelos laboratórios foram seguidos. Nesse primeiro momento, foram definidos os parâmetros de processamento, bem como a proporção de fibra/matriz para cada método.

3.5.1 Misturador Drais (método 1)

O misturador Drais fabricado pela M. H. Equipamentos, é um equipamento muito empregado para homogeneizar materiais, principalmente poliméricos, fundindo o material através da alta rotação e o atrito gerado entre o material e o eixo da máquina. Ele trabalha com duas velocidades de rotação: a velocidade 1 é de 2506 RPM, onde é realizada a pré mistura do conjunto; a velocidade 2 chega a 5140 RPM, homogeneizando o composto. Esse equipamento foi disponibilizado pelo laboratório de materiais da Universidade de Santa Cruz do Sul.

Inicialmente foram realizados testes para definir o melhor tempo de processamento, sendo processadas 150 gramas de material, destes, 5% de fibras, até encontrar uma mistura homogênea, fundida e sem sinais de degradação. Foi então estipulado que a velocidade 1 seria mantida até o equipamento atingir 15 A, alterando para a velocidade 2, a qual foi mantida até atingir 30 A. Essa etapa teve tempo médio de cerca de 1 minuto.

A seguir foram analisadas as possíveis proporções de fibras a serem usadas, onde foram testadas 5%, 10%, 15% e 20% de massa em fibras. Através dessa análise, foi limitada uma quantidade de 10% de resíduos têxteis desfibrados, pois a partir de 15% o equipamento não conseguiu mais fundir o material, havendo muita perda e quebra das fibras por decorrência do atrito gerado. Também foi possível observar que com esta proporção o misturador teve dificuldades para alcançar a amperagem no tempo delimitado.

Após os testes preliminares, no método 1 foi feita a homogeneização de 150 gramas, destes 135 g de PEAD verde e 15 g de fibras (10% da massa em fibras), obtendo a mistura para posterior prensagem a quente (Figura 14).

Figura 14 – Material homogeneizado após processamento no Drais.



Fonte: Autor (2020).

3.5.2 Extrusora dupla rosca (método 2)

O segundo método de mistura testado foi com a extrusora de dupla rosca modelo MH-COR-20-32-LAB da M.H. Equipamentos, disponibilizado pelo laboratório de polímeros da UCS. O equipamento consiste de duas roscas entrelaçadas e co-rotantes em um tambor fechado. Além da dupla rosca, para garantir a homogeneização do material, ele passa por 12 zonas de aquecimento, as quais garantem sua fundição gradativa.

Foram realizadas misturas preliminares com 10% da massa em fibras para encontrar os melhores parâmetros possíveis, onde buscou-se um material homogêneo. Dessa forma, foram definidas as seguintes temperaturas da zona 1 até a zona de massa (temperatura que o material sai da extrusora): 80, 130, 160, 180, 180, 190, 180, 180, 160, 160, 160, 162°C, em uma rotação de 200 RPM.

Foi testado também o limite de fibras possíveis no processo, delimitando a 20% da massa do conjunto em fibras. Os testes com percentual maior ocasionaram fibras sem a impregnação do polímero, demonstrando que a mistura não era mais possível. Em cada amostra, foi processado 1 kg de material, ou seja, nas amostras com 10% de fibra, 900 g eram de PEAD verde e 100 g de resíduo têxtil, levando cerca de 30 minutos para o processamento de cada mistura.

Os testes preliminares demonstraram uma limitação na quantidade de fibras aplicadas na mistura. Isso pode ser explicado pela falta de agente acoplador, que normalmente possibilita o emprego de um volume maior de fibras (BALLA et al., 2019).

3.6 PROCESSAMENTO DOS CORPOS DE PROVA

Após as análises preliminares de mistura, foram estabelecidas as amostras a serem analisadas (Quadro 1). Os corpos de prova foram definidos com a intenção de analisar as variáveis de proporção reforço/matriz, composição do resíduo e processamento.

Foram feitas apenas amostras de injeção com o PEAD verde puro, pois o tipo SHC7260 foi desenvolvido para este método. As variáveis de proporção fibra/matriz e composição dos resíduos foram desenvolvidas apenas com o método de injeção, pois é o processamento com maior possibilidade de aplicação no futuro, devido a sua produtividade e elaboração de peças com diferentes geometrias (BALLA et al., 2019; SHAH, 2013). A comparação entre os métodos de fabricação foram realizadas somente com o resíduo 100% algodão, devido ao fato de ser a fibra mais utilizada pelo setor, consequentemente a com maior descarte.

Quadro 1 – Amostras analisadas

Amostra	Composição da amostra	Composição do resíduo	Processamento
1	100% PEAD	-	Injeção
2	90% PEAD/10% resíduo	100% algodão	Prensa térmica
3	90% PEAD/10% resíduo	100% algodão	Injeção
4	85% PEAD/15% resíduo	100% algodão	Injeção
5	80% PEAD/20% resíduo	100% algodão	Injeção
6	90% PEAD/10% resíduo	70% algodão/30% poliéster	Injeção

Fonte: Autor (2020).

3.6.1 Prensa térmica (método 1)

A prensagem térmica foi realizada no laboratório de materiais da Universidade de Santa Cruz do Sul, em um ambiente com temperatura controlada a 25°C. A prensa térmica modelo MH-8-MT da M. H. Equipamentos, possui uma zona superior fixa aquecida e uma inferior móvel aquecida, onde é colocado o molde que sobe através de um pistão que executa a pressão no material.

Foi necessário executar processamentos preliminares para definir os parâmetros de prensagem, principalmente a temperatura da prensa, com o intuito de evitar o aparecimento de bolhas e irregularidades na superfície. Foram retiradas 4 misturas do misturador Drais, cada uma com 150 gramas, colocadas no molde de 40x40x0,4 cm e pré-aquecidas na prensa térmica durante 15 minutos, já nas temperaturas de prensagem (160, 170 e 180°C), com a intenção do material atingir o ponto de fundição para preencher todo o molde. A mistura foi então prensada durante 15 minutos a uma pressão constante de 20 toneladas. O material foi mantido na prensa durante 24 horas para resfriamento a temperatura ambiente e para evitar um possível encruamento da placa.

Todas as temperaturas utilizadas apresentaram algum defeito na superfície, pois este é um processo que dificilmente ocasionaria uma placa perfeita, devido ao tipo de alimentação e ao fluxo do material. A placa com menos defeitos foi processada a

180°C. Foram feitas mais 4 no total, com o intuito de retirar delas, através da usinagem, corpos de prova de acordo com as normas estabelecidas.

3.6.2 Moldagem por injeção (método 2)

As misturas feitas na extrusora dupla rosca foram resfriadas em temperatura ambiente durante 1 hora, após resfriadas, elas foram processadas em um moinho de facas com uma peneira de abertura de 10mm durante 3 minutos. A moagem foi realizada no laboratório de polímeros da UCS, em um ambiente de temperatura controlada a 25°C.

Após a moagem, o material em forma de grânulos foi injetado nos moldes de corpo de prova de acordo com as normas preestabelecidas. Também foram realizadas injeções preliminares para definir os parâmetros corretos para o processo, sendo utilizada a mistura com 20% de fibra, buscando peças sem nenhum defeito superficial, como bolhas, trincas ou rebarbas (Quadro 2).

Quadro 2 – Parâmetros de injeção utilizados na conformação dos corpos de prova

Parâmetro	Valor
Pressão de injeção	1050 kg/cm ³
Pressão de dosagem	1719 kg/cm ³
Fluxo de injeção	75 cm ³ /s
Fluxo de dosagem	65 cm ³ /s
Temperatura Z3	160°C
Temperatura Z2	170°C
Temperatura Z1 (Bico)	180°C
Tempo de injeção	4s
Tempo de resfriamento	22s

Fonte: Autor (2020).

A injeção foi realizada no laboratório de polímeros da UCS, na injetora LH150-80 da fabricante Himaco Hidráulicos e Máquinas. A injetora também conta com uma extrusora interna de dupla rosca, com 3 zonas de aquecimento, sendo uma delas a temperatura do bico injetor.

A pressão de dosagem é a pressão que a extrusora interna alimenta a zona do bico e, o fluxo é a quantidade de material por segundo levado da extrusora até a área de injeção. A pressão de injeção é a pressão que o bico alimenta o molde e, o fluxo é a quantidade de material por segundo que sai do bico para preencher as cavidades do molde. Para comparar os processos de confecção do compósito, a temperatura utilizada no bico é a mesma do processo de prensagem a quente (180°C). O tempo de injeção total é de 4 segundos, após o preenchimento do molde, este ainda ficou selado por outros 22 segundos sendo resfriado com um fluido refrigerante.

Foram confeccionados corpos de prova de acordo com o quadro 1, fazendo uso de moldes de acordo com a normas estabelecidas para os ensaios (Figura 15). Após o processo de injeção, os corpos de prova foram condicionados de acordo com a norma ASTM D618, mantidos durante 48 horas a temperatura de 23°C e umidade relativa de 50%.

Figura 15 – Moldes com dimensões padronizados e corpos de prova para ensaios



Fonte: Autor (2020).

3.7 ANÁLISES TERMOANALÍTICAS

Foram realizadas técnicas termoanalíticas para encontrar a temperatura de degradação através da análise termogravimétrica (TGA) e, a temperatura de fusão

através da calorimetria diferencial de varredura (DSC) nas amostras 0, 2, 3, 4 e 5, com o intuito de investigar a variação que a quantidade de resíduo e a composição do tecido causam no compósito. O material para análise foi retirado do processo de moagem.

3.7.1 Análise termogravimétrica (TGA)

A análise termogravimétrica é uma técnica destrutiva que monitora a medida de variação contínua de massa em função do aumento gradativo de temperatura ou do tempo a uma temperatura constante. Ela foi utilizada para determinar a temperatura de degradação dos constituintes do compósito, investigando se há alteração de valores com as distintas proporções de matriz/reforço e composição das fibras (MOHSIN; LANNUCCI; GREENHALGH, 2019).

Foi analisado a perda de massa da amostra em função do aumento da temperatura, sendo definida uma taxa de aquecimento de 10°C/min, para o intervalo de temperatura de 23 até 800°C. As medidas foram realizadas em uma atmosfera de nitrogênio com fluxo de 50 ml/min e cada amostra tem em média 10 mg. O equipamento empregado para análise foi a balança termoanalítica da Shimadzu, modelo TGA 50, presente no laboratório de polímeros da UCS.

Através de uma análise da termogravimétrica derivada (DTG), foi possível observar os picos de temperatura em cada amostra, as quais determinam a temperatura máxima de degradação de cada constituinte do compósito.

3.7.2 Calorimetria diferencial de varredura (DSC)

A técnica de DSC é muito usada por diversos setores, principalmente para controle de qualidade de produtos em desenvolvimento, medindo as temperaturas e o fluxo de calor associado às transições químicas e físicas dos materiais analisados em função do tempo e da temperatura. Em outras palavras, a técnica pode ser empregada para determinar as temperaturas de transição vítrea (T_g), temperatura de cristalização (T_c) e temperatura de fusão (T_m) dos materiais, através de uma análise num termograma de DSC (DRZEZDZON et al., 2019, KRISHNASAMY et al., 2019).

O equipamento utilizado foi o modelo DSC-60, marca Shimadzu, no laboratório de polímeros da UCS. Foram analisados 10 mg de cada amostra, com uma taxa de aquecimento e resfriamento de 10°C/min. Foi realizado 1 ciclo de aquecimento, com uma variação de temperatura de -50 a 250°C, com fluxo de 50 ml/min, aplicando nitrogênio como gás de arraste.

A análise de DSC foi aplicada para encontrar a temperatura de fusão das amostras desenvolvidas, onde foi possível determinar a T_m de cada material pelos picos relativos da transição térmica demonstrada nos termogramas de DSC.

3.8 ENSAIOS MECÂNICOS NORMALIZADOS

Os ensaios mecânicos realizados seguiram os procedimentos indicados em normais internacionais. Todos os ensaios foram realizados no laboratório de polímeros da UCS. O compósito desenvolvido tem como objetivo substituir aplicações industriais rotineiras do PEAD, como paletes de transporte, capacetes de segurança e placas para suportes de materiais (estantes). Dessa forma foram definidas as seguintes propriedades mecânicas a serem analisadas: flexão, tração e impacto.

O desenvolvimento dos corpos seguiu as normativas de cada propriedade a ser analisada, bem como suas dimensões e geometrias.

3.8.1 Resistência à flexão

No ensaio de resistência à flexão, os corpos de prova são apoiados em duas extremidades e uma força é aplicada no centro do material, submetendo as amostras e esforços de tração e compressão. Os ensaios foram realizados de acordo com a norma ASTM D790 - 17, na máquina de ensaio universal Emic DL3000, com capacidade de até 20 kN.

Os ensaios foram realizados com uma célula de carga de 20 kN, com uma velocidade aplicada de 2mm/min, sendo obtidos os seguintes dados: resistência à flexão, módulo de elasticidade e deformação.

3.8.2 Resistência à tração

Nos ensaios mecânicos à tração, os corpos de prova são deformados até sua fratura, sob uma carga de tração gradativamente crescente, aplicada uniaxialmente ao longo do eixo de maior dimensão do corpo de prova. Os ensaios foram realizados seguindo os procedimentos da norma ASTM D638 - 14, executados no equipamento Emic DL3000.

Foi empregada uma célula de carga de 20 kN, sob uma velocidade de ensaio de 50 mm/min. Através da análise dos resultados de cada amostra foram obtidos os seguintes dados deste ensaio: resistência à tração, módulo de elasticidade (módulo Young) e deformação.

3.8.3 Resistência ao impacto Izod

Os ensaios de impacto avaliam as propriedades dos materiais sob uma sollicitação de alta carga em alta velocidade em um curto espaço de tempo. Mede, portanto, a energia (em joules) necessária para romper um material sob condições padronizadas de acordo com as normas vigentes (SAMAL et al., 2016).

Para a determinação da resistência ao impacto Izod, os ensaios foram realizados conforme a norma ASTM D256 - 10, fazendo uso do equipamento de ensaios CEAST, modelo 6545/000. A velocidade do ensaio foi de 3,46 m/s, aplicadas por um martelo com energia de 1,0 J. Os resultados de resistência ao impacto foram expressos em J/m, medidos em uma temperatura controlada de 23°C.

3.9 AVALIAÇÃO AMBIENTAL E ANÁLISE DE CUSTOS

A análise de custos da presente pesquisa foi realizada com base na metodologia de cálculo posteriori (valores obtidos após o processo produtivo), para comparação dos processamentos empregados, levando em consideração os custos diretos e indiretos envolvidos para a confecção de 1 kg do compósito (NETO, 2008). Para a comparação entre o material desenvolvido e os materiais tradicionais empregados como matéria prima na confecção de paletes de transporte e capacetes de segurança, foi realizado

um levantamento dos valores de mercado do PEAD verde e do tradicional. Dessa forma, foi possível definir o custo para desenvolvimento do material proposto e avaliar a viabilidade do seu emprego como matéria prima para os itens em questão.

Para a avaliação ambiental, foi feito um comparativo entre o compósito e o PEAD, avaliando os benefícios na produção de 1 kg do material desenvolvido no que tange a diminuição de emissões de gases nocivos para a atmosfera. Assim como, a quantidade de resíduos têxteis que deixariam de ir para aterros sanitários inapropriados.

4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Na seção 4 são discutidos os resultados obtidos com a elaboração do compósito proposto empregando resíduos têxteis como reforço para o polietileno verde de alta densidade, evidenciando o que foi obtido nas etapas da produção mais limpa através do planejamento realizado com o gerenciamento de projetos demonstrado na seção 3. Primeiramente foram avaliadas as características térmicas dos compósitos, na sequência às propriedades mecânicas das amostras, finalizando então com a avaliação ambiental e a análise de custos. A solução apresentada na pesquisa visou a reutilização de resíduos, buscando encontrar uma solução viável tecnicamente para os resíduos têxteis.

4.1 AVALIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS TÉRMICAS DOS COMPÓSITOS

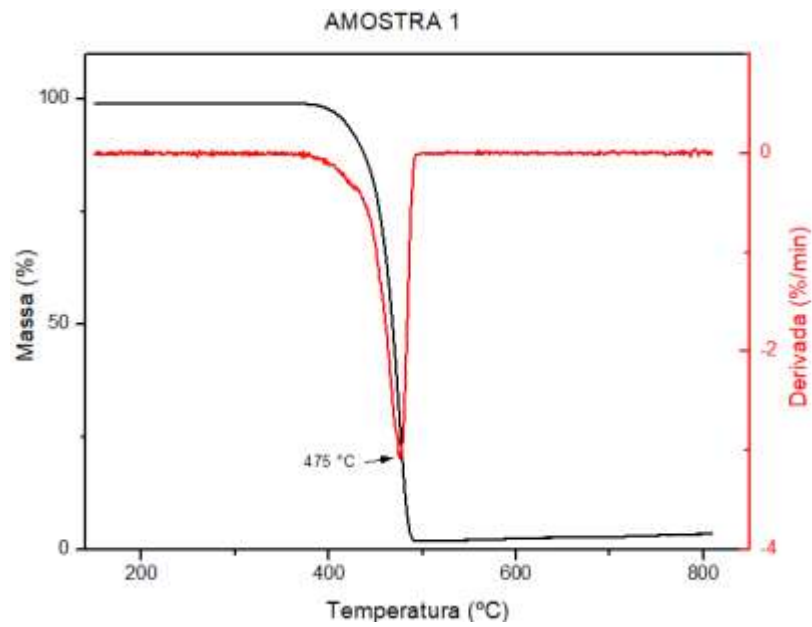
Foram realizadas as análises termoanalíticas das amostras 1, 3, 4, 5 e 6, com o intuito de avaliar termicamente a influência que a proporção reforço/matriz e a composição do resíduo causam no compósito. O material usado nos ensaios foi retirado do moinho de facas, onde foram analisadas 10 mg de cada amostra. A plotagem e tratamento dos gráficos foram realizados com o software *Origin Pro 8.5*.

4.1.1 Análise termogravimétrica (TGA)

A Figura 16 demonstra os resultados de TGA da amostra 1, correspondente ao polietileno verde de alta densidade. Nas Figuras 17 e 18 é possível observar os termogramas das amostras dos compósitos desenvolvidos. Todos os resultados pertinentes a análise de TGA estão demonstrados no quadro 3.

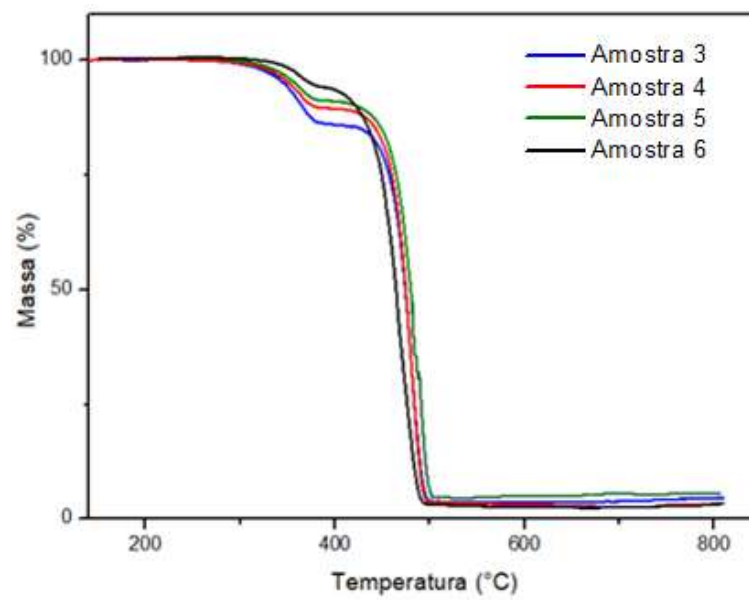
Analisando a figura 16 é possível concluir que o PEAD verde sem reforço começa a degradar a 385 °C e tem como temperatura de degradação máxima 475 °C, terminando sua decomposição em aproximadamente 495 °C. Nos resultados das amostras 3 a 6, a primeira perda mássica é referente a degradação da fibra de algodão, a segunda perda mássica a matriz de PEAD verde e, para a amostra 5, a terceira perda mássica é resultado a decomposição da fibra de poliéster.

Figura 16 – Termograma de TGA do PEAD verde (amostra 1)



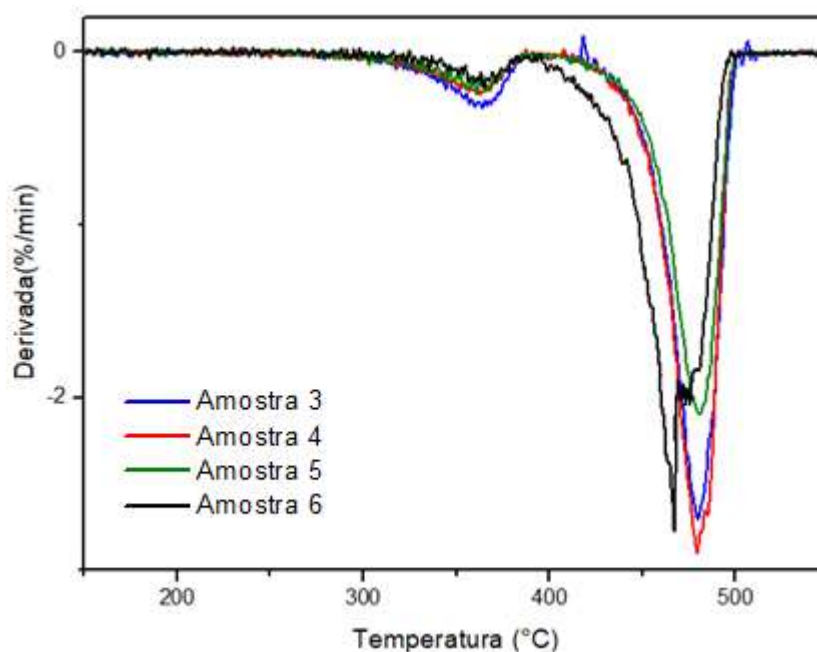
Fonte: Autor (2020).

Figura 17 – Termograma de TGA das amostras 3, 4, 5 e 6



Fonte: Autor (2020).

Figura 18 – Primeira derivada do termograma de TGA das amostras 3, 4, 5 e 6



Fonte: Autor (2020).

Quadro 3 – Resultado de TGA das amostras

Amostra	Primeira perda mássica		Segunda perda mássica		Terceira perda mássica	
	Temperatura de degradação máxima (°C)	Perda de massa (%)	Temperatura de degradação máxima (°C)	Perda de massa (%)	Temperatura de degradação máxima (°C)	Perda de massa (%)
1	475	98,1	-	-	-	-
3	363,8	9,5	479,6	86,8	-	-
4	362,9	14,6	479,8	82,7	-	-
5	360,9	19,1	480,7	76,4	-	-
6	364,5	5,1	467,8	85,3	475,4	3,4

Fonte: Autor (2020).

Foi possível observar que com o acréscimo das fibras de algodão o pico de decomposição da matriz de PEAD se desloca ligeiramente para a direita, aumentando a resistência térmica do compósito. Para a amostra 6, devido a presença do poliéster, a temperatura de degradação máxima deslocou-se para a esquerda. Isso pode ser explicado porque o poliéster ao fundir serviu como carga para o material, diminuindo a resistência térmica do PEAD.

4.1.2 Análise de calorimetria diferencial de varredura (DSC)

A análise de DSC possibilita determinar às propriedades térmicas do material que são de extrema importância para o seu processamento. A definição dos parâmetros de confecção leva em consideração a temperatura de fusão do material e as mudanças físicas que ocorrem com a variação de temperatura, essenciais para definir sua aplicabilidade (BALLA et al., 2019).

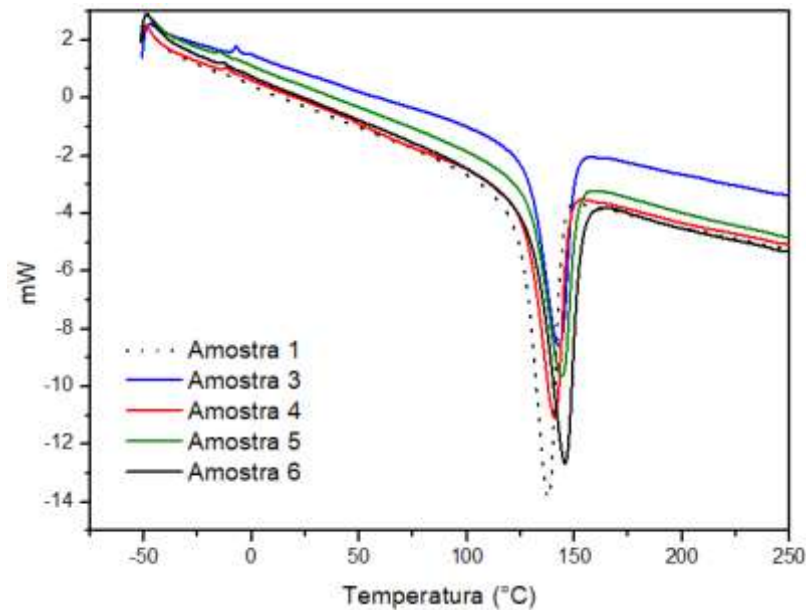
Além da temperatura de fusão, com a DSC também é possível obter a temperatura de cristalização, grau de cristalinidade e temperatura de transição vítrea, mas para isso são necessários ciclos de aquecimento e resfriamento, oportunizados através da utilização dos equipamentos adequados. Com apenas um ciclo de aquecimento, foi possível determinar a temperatura de fusão das amostras, os resultados estão presentes na Tabela 5, obtidos através da análise do gráfico da Figura 19.

Tabela 5 – Resultados de Tm da DSC

Amostra	Temperatura de Fusão (°C)
1	137,6
3	142,7
4	140,7
5	144,2
6	145,5

Fonte: Autor (2020).

Figura 19 – Termograma de DSC das Amostras – indicativo de Tm



Fonte: Autor (2020).

Através dos resultados demonstrados na Figura 19 e na Tabela 5, é possível observar que com o acréscimo das fibras houve um aumento na Tm do compósito. A amostra 6, com resíduo 70% algodão/30% poliéster proporcionou a maior Tm, isso porque o poliéster possui uma maior temperatura de fusão que o polietileno, aumentando a Tm do conjunto (LAU et al., 2018).

4.2 AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DOS COMPÓSITOS

Todas as amostras foram analisadas com o intuito de investigar as variáveis pertinentes do presente projeto. Para isso, foram ensaiados 7 corpos de prova. Nesta sessão serão expostos os resultados das análises de resistência mecânica de flexão, tração e impacto, buscando encontrar a melhor proporção reforço/matriz, o processamento que promoveu propriedades superiores e a composição do resíduo mais adequada para reforçar o compósito.

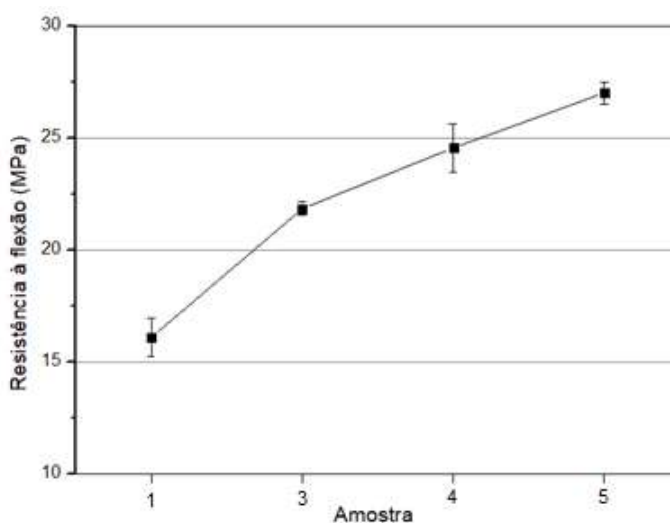
4.2.1 Resistência à flexão

Esta é uma avaliação muito importante deste estudo, para comparar o desempenho do compósito com materiais tradicionais usados na confecção de paletes de transporte e suportes para objetos, visto que estes são frequentemente submetidos à esforços de flexão.

Os corpos de prova foram ensaiados conforme da norma ASTM D790 - 17. Os resultados obtidos de resistência à flexão, módulo de elasticidade e alongamento máximo estão demonstrados nas figuras a seguir. Primeiramente, a variável investigada foi a proporção reforço/matriz, onde foram comparadas as amostras 1, 3, 4 e 5, PEAD sem reforço, com 10%, 15% e 20% de massa em fibras respectivamente, os resultados estão demonstrados nas Figuras 20, 21 e 22.

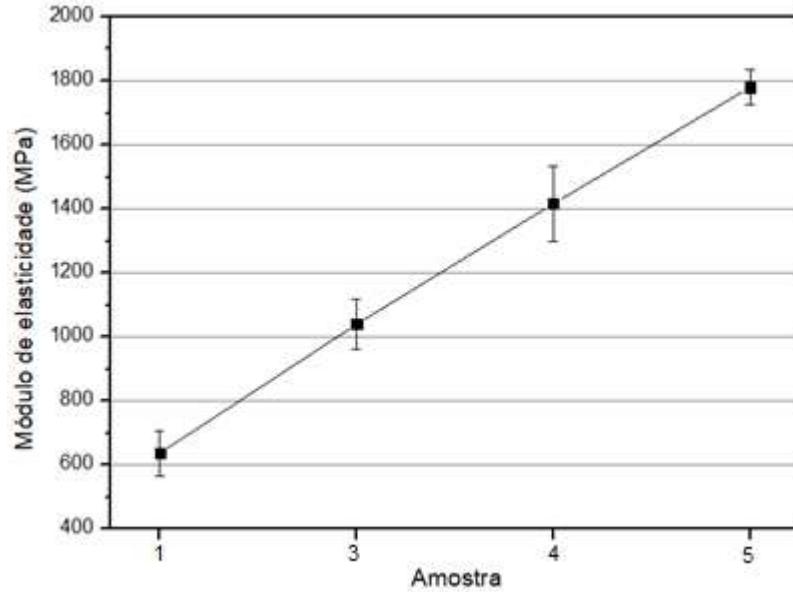
Analisando as amostras produzidas com o processo de injeção, contata-se a influência positiva da presença de resíduo têxtil como reforço para o polietileno nos testes de flexão. O aumento na quantidade de fibra presente no polímero melhorou a resistência e o módulo de elasticidade do compósito, contudo, o alongamento máximo foi reduzindo com o acréscimo do reforço.

Figura 20 – Resistência à flexão das amostras 1, 3, 4 e 5 (análise da influência da proporção de resíduo)



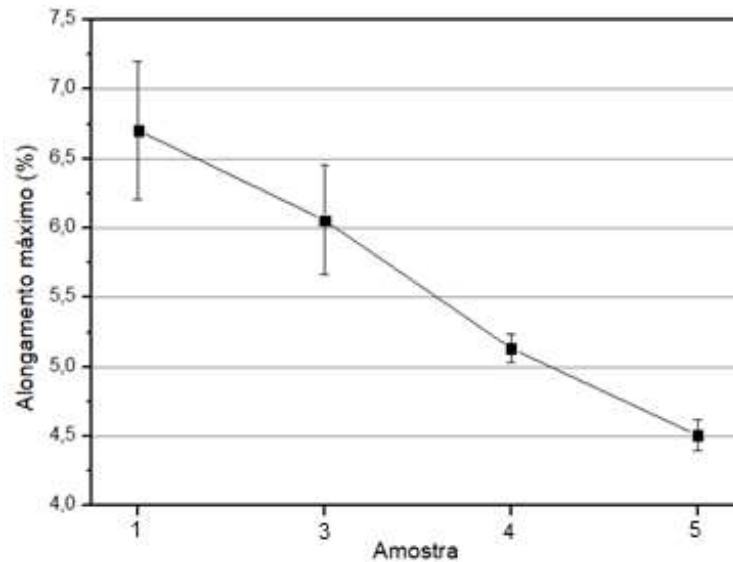
Fonte: Autor (2020).

Figura 21 – Módulo de elasticidade em flexão das amostras 1, 3, 4 e 5 (análise da influência da proporção de resíduo)



Fonte: Autor (2020).

Figura 22 – Alongamento na flexão máxima das amostras 1, 3, 4 e 5 (análise da influência da proporção de resíduo)

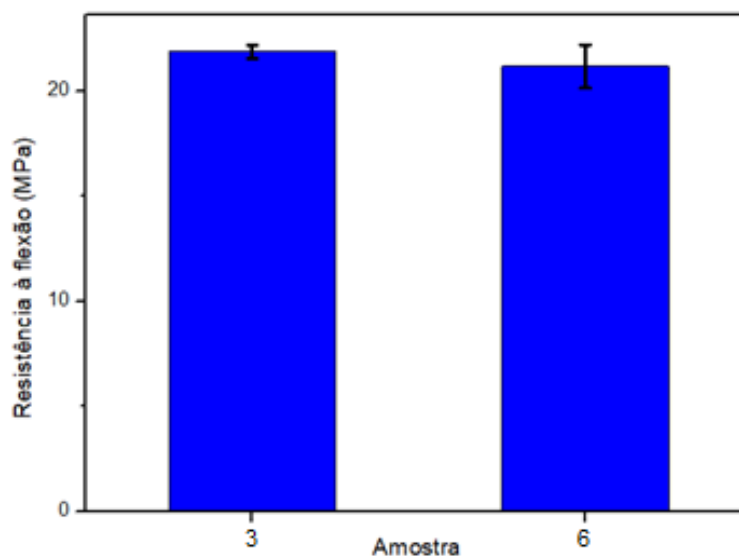


Fonte: Autor (2020).

Os melhores resultados de resistência à flexão e módulo de elasticidade foram obtidos com a presença de 20% em massa de fibras, 27,03 MPa e 1780 MPa respectivamente, promovendo um acréscimo de 67,8% e 179% respectivamente quando comparadas com o PEAD puro (amostra 1), se aproximando dos 28 MPa encontrados por Aji et. al (2013), que aplicou 40% de fibras de cânhamo e folhas de abacaxi como reforço para o PEAD. Na figura 22 é possível observar uma diminuição da deformação dos compósitos conforme o aumento de fibras, logo, o resíduo provocou um aumento de rigidez para o compósito.

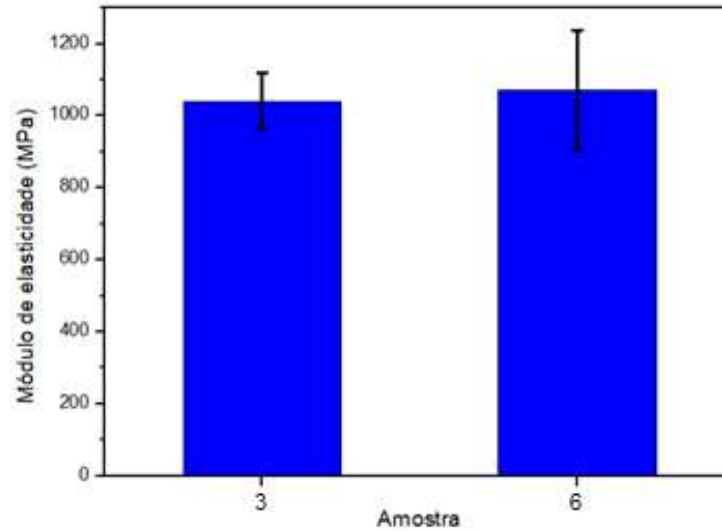
Nas Figuras 23, 24 e 25 estão demonstrados os resultados de comparação entre a composição dos resíduos. Foram comparadas as composições de 100% algodão (amostra 3) e 70% algodão/30% poliéster (amostra 6), ambas confeccionadas com a injeção e aplicando 10% de massa em fibras.

Figura 23 – Resistência à flexão das amostras 3 e 6 (comparação entre composição dos resíduos)



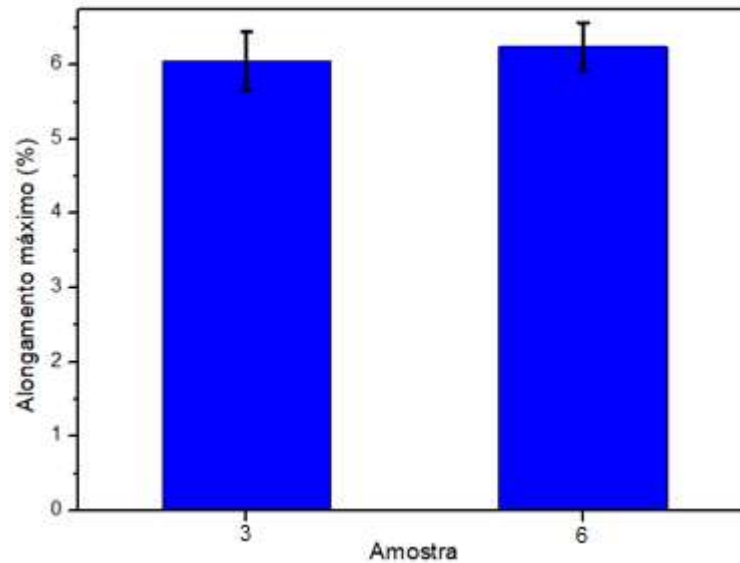
Fonte: Autor (2020).

Figura 24 – Módulo de elasticidade em flexão das amostras 3 e 6 (comparação entre composição dos resíduos)



Fonte: Autor (2020)

Figura 25 – Alongamento na flexão máxima das amostras 3 e 6 (comparação entre composição dos resíduos)

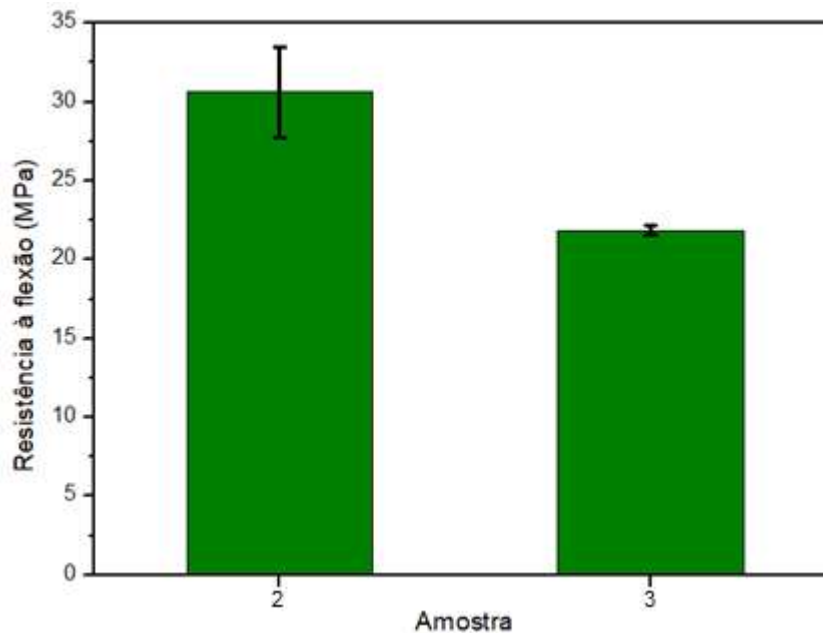


Fonte: Autor (2020).

Analisando os resultados da comparação entre as composições investigadas, notam-se ligeiras diferenças entre elas, que podem ser desconsideradas levando em conta o desvio padrão, provavelmente essas alterações seriam mais evidentes com 20% de massa em fibras no compósito. Mas de qualquer forma, os resultados demonstram o esperado de acordo com as propriedades das fibras. A presença da fibra de poliéster faz com que o módulo de elasticidade (1072 MPa) e o alongamento (6,24%) sejam maiores, principalmente devido as propriedades elásticas do poliéster e, o algodão promove uma maior resistência (21,86 MPa). Módulo superior ao encontrado por Boronat et al. (2015), que reforçou o PEAD verde com casca de ovo modificada, resultando em 1021 MPa.

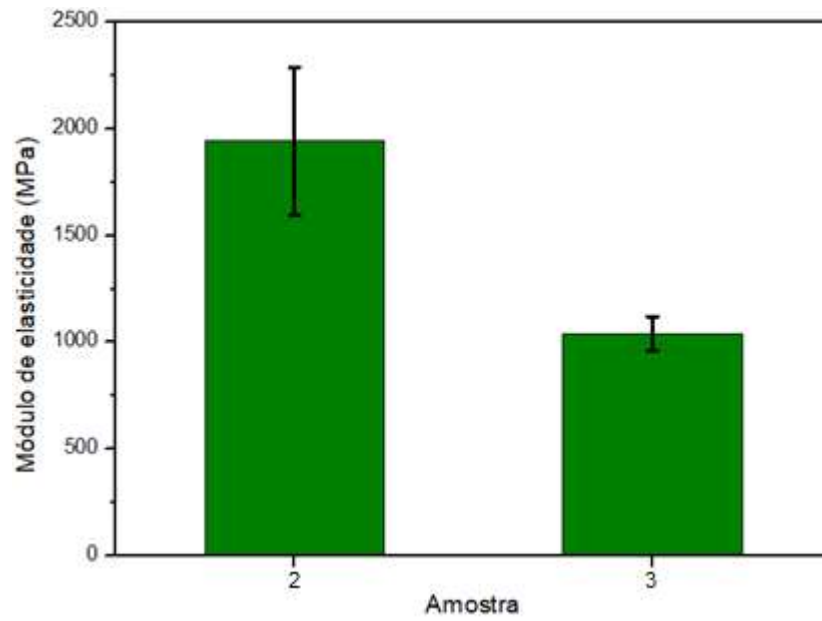
Nas Figuras 26, 27 e 28 foi realizada a comparação entre os dois processamentos investigados, a prensagem térmica (amostra 2) e a injeção (amostra 3), ambos foram confeccionados com a presença de 10% em massa de fibra 100% algodão.

Figura 26 – Resistência à flexão (comparação entre processamentos)



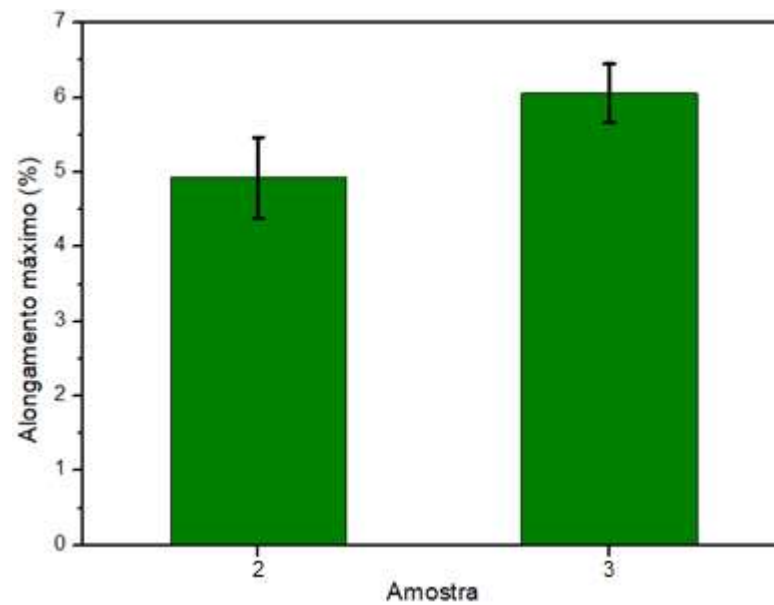
Fonte: Autor (2020).

Figura 27 – Módulo de elasticidade em flexão (comparação entre processamentos)



Fonte: Autor (2020).

Figura 28 – Alongamento na flexão máxima (comparação entre processamentos)



Fonte: Autor (2020).

A comparação entre os processamentos mostrou-se pertinente, visto que com a prensagem a quente o compósito apresentou resistência e módulo de flexão significativamente superiores ao confeccionado com a injeção, 30,60 Mpa e 1942 MPa respectivamente. A resistência a flexão foi aproximadamente 40% maior na prensagem térmica e o módulo de elasticidade 86,7%, a principal explicação para esta significativa diferença é o tamanho das fibras, corroborando o que foi afirmado por Balla et al. (2019), que demonstrou que o tamanho das fibras tem forte influência nas propriedades de um compósito, principalmente nas propriedades de flexão. A dimensão superior das fibras promoveu um menor alongamento para o material, devido à baixa elasticidade da fibra de algodão, tornando o compósito mais rígido. Além disso, a dificuldade de interação entre a fibra e a matriz provavelmente foi diminuída devido ao corante do tecido, como explicado por Serra et al. (2017).

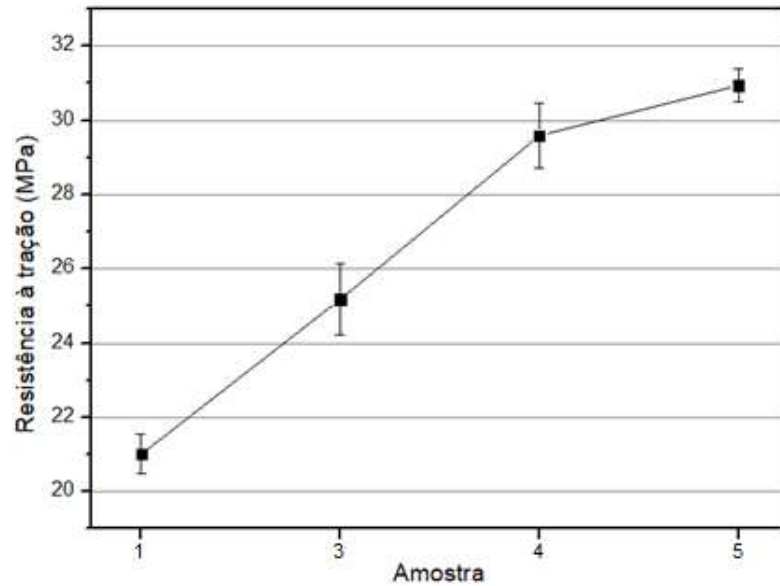
Contudo, como já era esperado, a prensagem térmica apresentou desvios padrão superiores a injeção. Demonstrando que o método 2 confecciona materiais mais uniformes e homogêneos, com uma variabilidade menor.

4.2.2 Resistência à tração

As análises de tração nos corpos de prova foram realizadas conforme a norma ASTM D638 - 14. Os resultados obtidos de resistência máxima à tração, módulo de elasticidade (módulo Young) em tração e alongamento na tração máxima estão demonstrados nas figuras a seguir. A primeira variável investigada foi a proporção reforço/matriz, os resultados podem ser observados nas Figuras 29, 30 e 31.

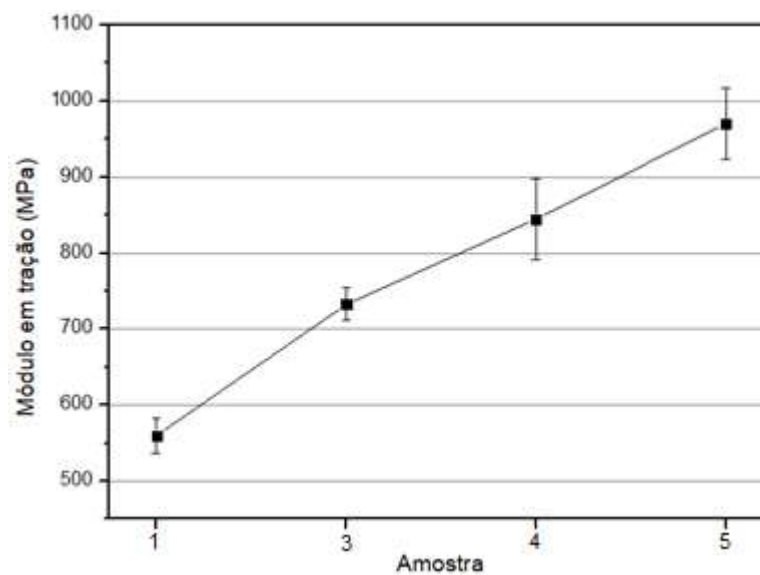
Analisando os resultados obtidos das amostras produzidas com o processo de injeção, observa-se influência positiva da presença de resíduo têxtil como reforço para o polietileno nos testes de tração. Assim como nos ensaios de flexão, o aumento de propriedades foi progressivo a quantidade de fibra presente reforçando o polímero, porém, o alongamento máximo foi reduzindo com o acréscimo do reforço.

Figura 29 – Resistência máxima à tração das amostras 1, 3, 4 e 5 (análise da influência da proporção de resíduo)



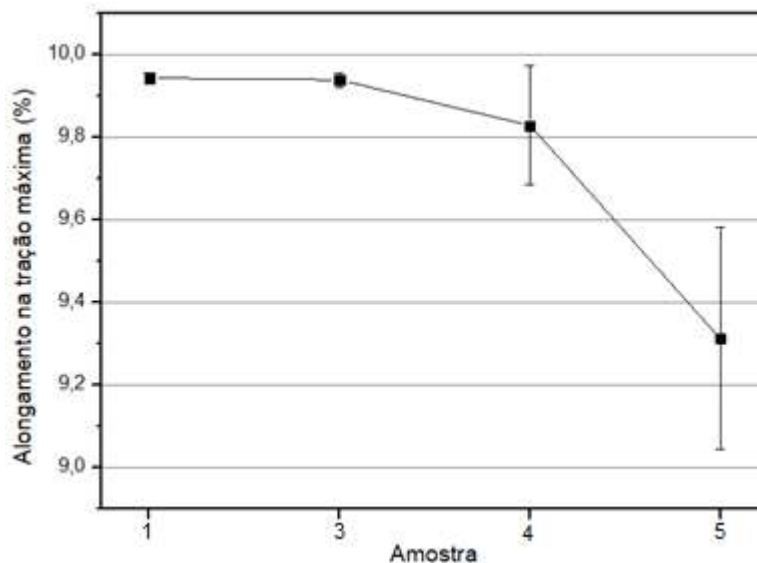
Fonte: Autor (2020).

Figura 30 – Módulo de elasticidade em tração das amostras 1, 3, 4 e 5 (análise da influência da proporção de resíduo)



Fonte: Autor (2020).

Figura 31 – Alongamento na tração máxima das amostras 1, 3, 4 e 5 (análise da influência da proporção de resíduo)

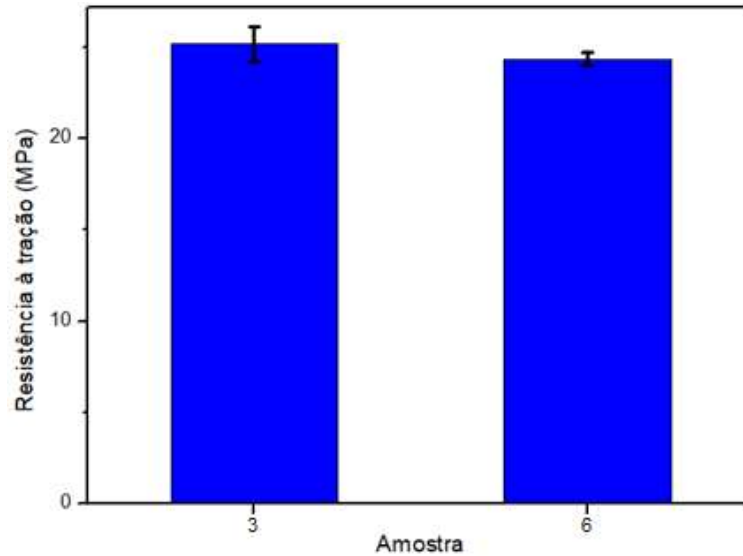


Fonte: Autor (2020).

Os melhores resultados de resistência à tração e módulo de Young foram obtidos com a presença de 20% em massa de fibras, resultando em 30,94 MPa de resistência e 970,3 MPa de módulo, promovendo um acréscimo de 47,3% e 73,3% respectivamente quando comparadas com o PEAD puro (amostra 1). Superiores também ao compósito desenvolvido por Sood, Deepak e Gupta (2018), fabricado através da injeção, com 22% de fibra de sisal como reforço para o PEAD, encontrando 18,09 Mpa de resistência. Na figura 32 observa-se uma diminuição do alongamento dos compósitos conforme o aumento de fibras, logo, o resíduo provocou um aumento de rigidez para o material.

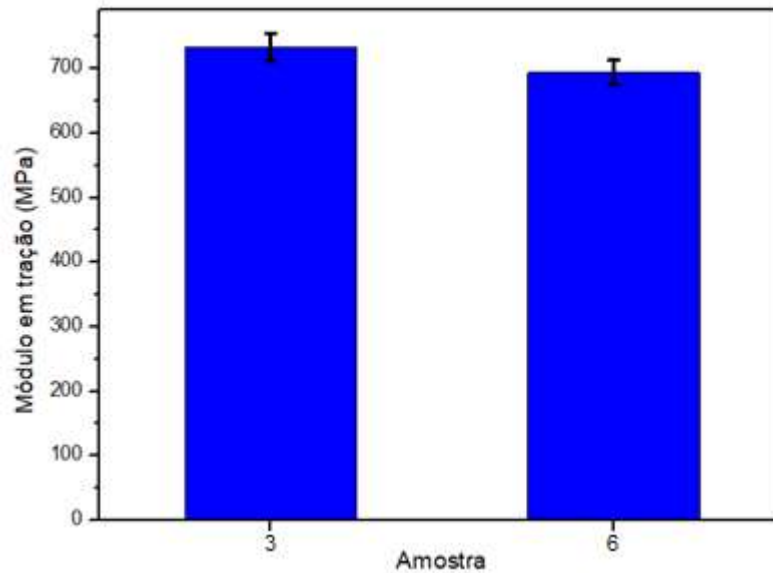
As Figuras 32, 33 e 34 expõem os resultados da comparação entre a composição dos resíduos, seguindo o procedimento realizado para o ensaio de flexão. Considerando o desvio padrão das amostras pode-se observar que não houve grandes alterações de propriedades, contudo, a amostra 3 apresentou a resistência e o módulo ligeiramente maiores, 25,18 MPa e 732,6 MPa respectivamente, essa pequena diferença deve-se principalmente a maior resistência da fibra de algodão em comparação com a de poliéster.

Figura 32 – Resistência máxima à tração das amostras 3 e 6 (comparação entre composição dos resíduos)



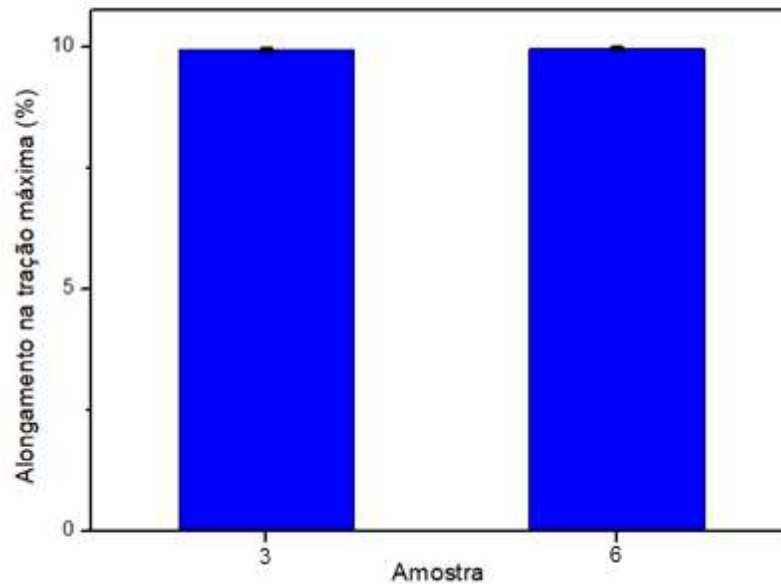
Fonte: Autor (2020).

Figura 33 – Módulo de elasticidade em tração das amostras 3 e 6 (comparação entre composição dos resíduos)



Fonte: Autor (2020).

Figura 34 – Alongamento na tração máxima das amostras 3 e 6 (comparação entre composição dos resíduos)

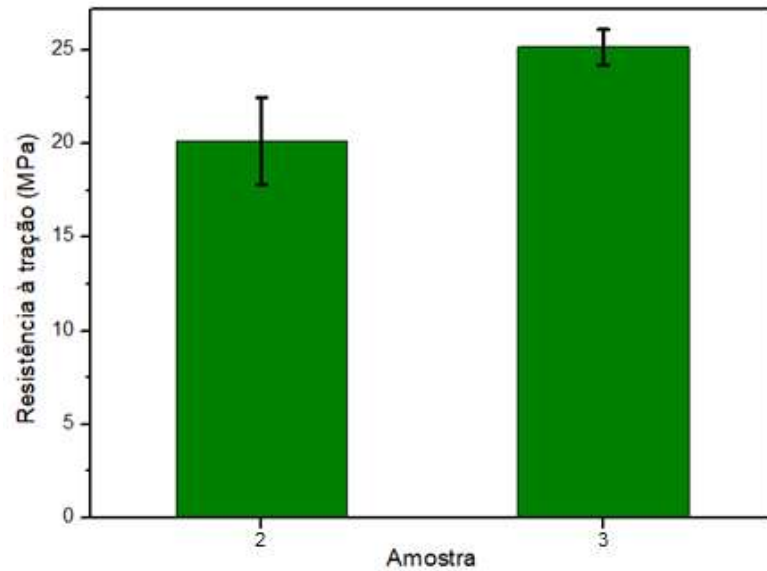


Fonte: Autor (2020).

Na sequência é apresentada a comparação entre os processamentos para os ensaios de tração, os resultados podem ser observados nas Figuras 35, 36 e 37. O procedimento foi o mesmo realizado nos testes de flexão, investigando a diferença de propriedades que a prensagem térmica (amostra 2) e a injeção (amostra 3) proporcionaram para o compósito com 10% em massa de fibra 100% algodão.

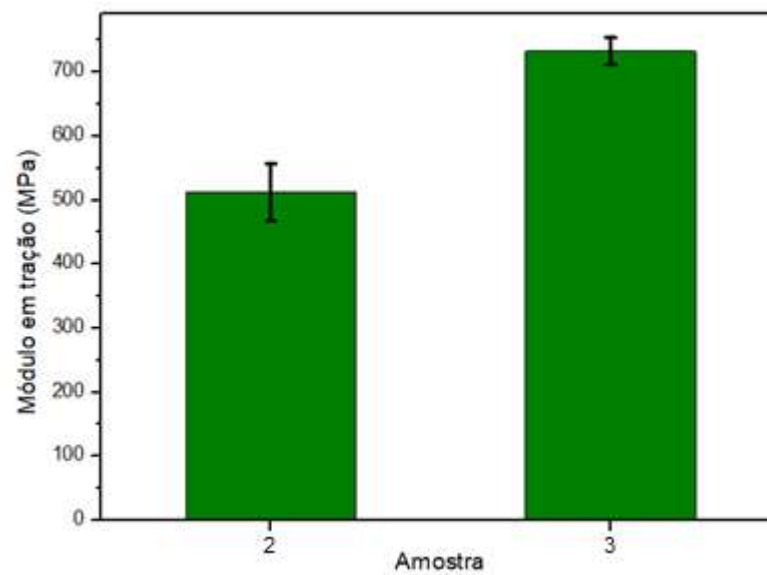
Analisando os resultados, pode-se concluir que a injeção proporcionou melhores propriedades de tração que a prensagem térmica e uma maior uniformidade nos resultados. Apresentando 25% de superioridade na resistência, aproximadamente 43% em módulo e um maior alongamento. Pode-se afirmar que, apesar do resíduo apresentar corantes que diminuíram a dificuldade de ligação entre os componentes, como visto nos resultados de flexão, para a tração, o aumento da área superficial das fibras proporcionou melhores propriedades, visto que, neste tipo de exigência mecânica, o primordial é a interação entre os componentes do compósito (KU et al., 2011).

Figura 35 – Resistência máxima à tração das amostras 2 e 3 (comparação entre processamentos)



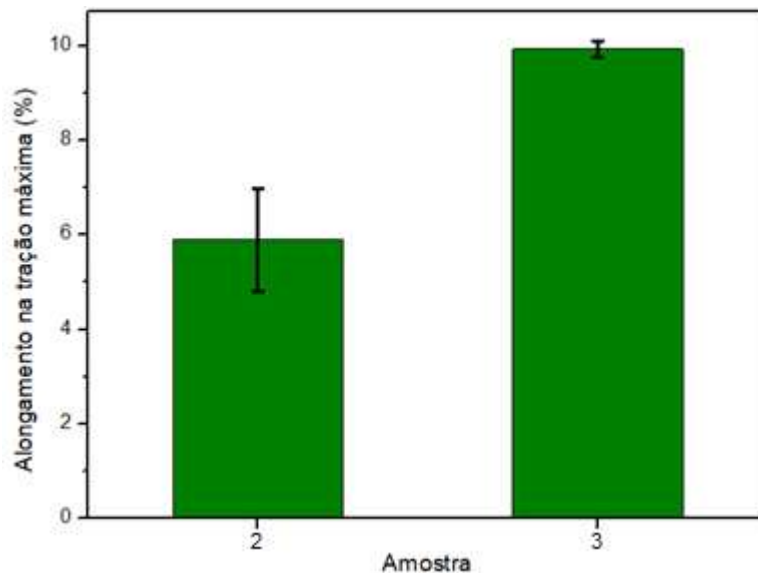
Fonte: Autor (2020).

Figura 36 - Módulo de elasticidade em tração das amostras 2 e 3 (comparação entre processamentos)



Fonte: Autor (2020).

Figura 37 – Alongamento na tração máxima das amostras 2 e 3 (comparação entre processamentos)



Fonte: Autor (2020).

4.2.3 Resistência ao impacto Izod

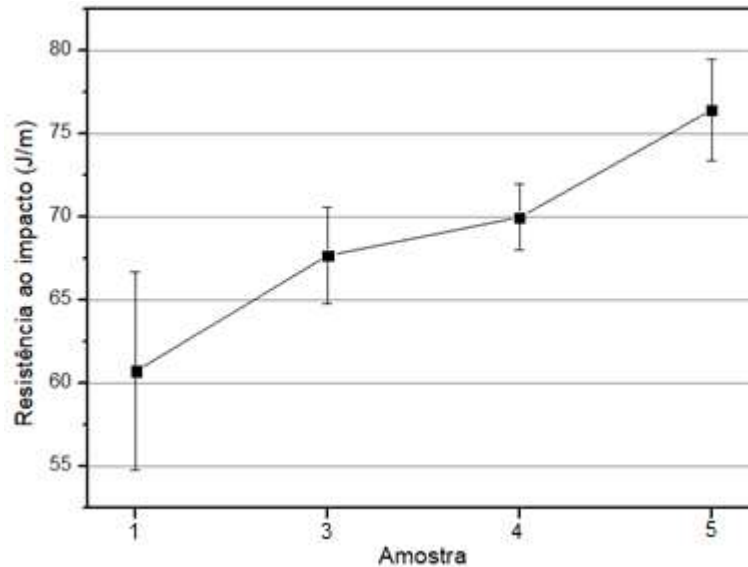
Analisar a resistência ao impacto do material confeccionado é pertinente, pois aplicações como capacetes de segurança e paletes de transportes são frequentemente expostos a altas exigências mecânicas em um curto espaço de tempo.

Os corpos de prova foram ensaiados conforme da norma ASTM D256 - 10. A Figura 39 demonstra os resultados obtidos de resistência ao impacto das amostras 1, 3, 4 e 5, comparando o PEAD puro e os corpos de prova com 10%, 15% e 20% de massa em fibras confeccionados com o processo de injeção.

Analisando a Figura 38 é possível concluir que assim como os outros ensaios mecânicos demonstrados anteriormente, a amostra que apresentou o melhor resultado de resistência foi a amostra 5. O compósito com 20% de massa em fibras apresentou uma resistência ao impacto de 76,44 J/m, aumentando a propriedade do PEAD verde sem reforço em 25,8%, muito próximo dos 88 J/m (com 20% da massa em fibra)

encontrados por FINKLER, et al. (2005), que reforçou o PEAD com resíduo têxtil e realizou o tratamento superficial das fibras.

Figura 38 – Resistência ao impacto Izod das amostras 1, 3, 4 e 5 (análise da influência da proporção de resíduo)

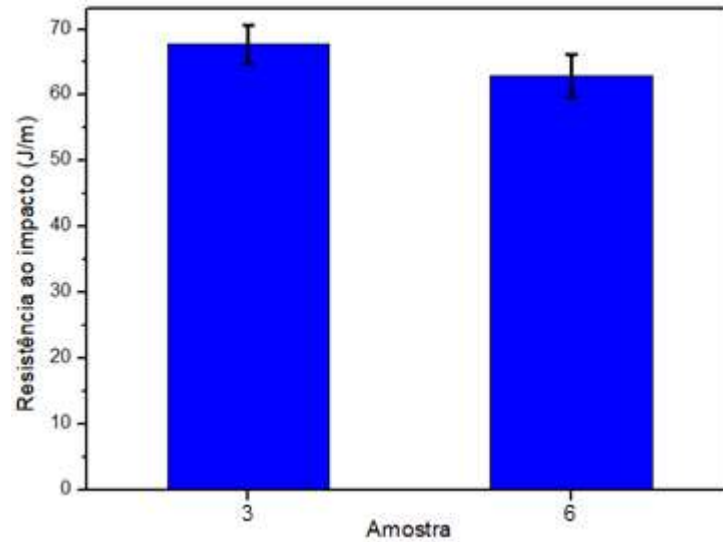


Fonte: Autor (2020).

Na Figura 39 foi realizada a comparação de resistência ao impacto entre as composições dos resíduos têxteis utilizados, contrapondo as amostras 3 e 6. E concluindo os ensaios mecânicos, a Figura 40 apresenta o resultado dos diferentes processamentos utilizados para a confecção do material, equiparando as amostras 2 e 3.

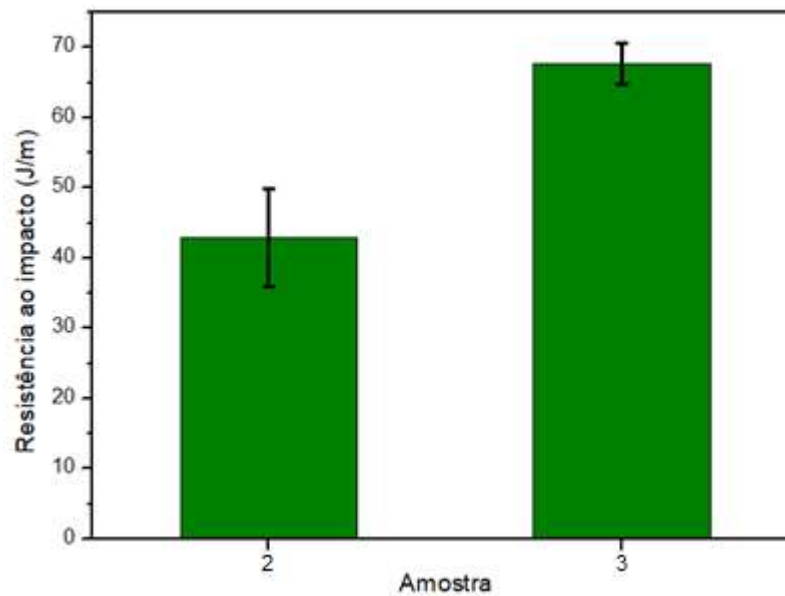
Assim como nos testes anteriores, o resíduo 100% algodão apresentou uma maior resistência quando comparada com o resíduo com 30% de poliéster, contudo essa variação também pode ser desconsiderada levando em conta o desvio padrão. Esses resultados vão de encontro ao esperado para esta comparação, pois como apresentado na Tabela 2, a fibra de algodão detém propriedades de resistência superiores à fibra de poliéster.

Figura 39 – Resistência ao impacto Izod das amostras 3 e 6 (comparação entre composição dos resíduos)



Fonte: Autor (2020).

Figura 40 - Resistência ao impacto Izod das amostras 2 e 3 (comparação entre processamentos)



Fonte: Autor (2020).

Na Figura 40 é demonstrada a comparação entre os dois processamentos investigados e, para o teste de impacto, o material confeccionado através da injeção promoveu uma resistência 58% superior a prensagem a quente. Seguindo os testes anteriores, a injeção apresentou um menor desvio padrão, reafirmando sua produção mais uniforme e homogênea. Como não foi utilizado nenhum agente de acoplamento ou foi realizado o tratamento superficial das fibras, a dificuldade de ligação entre os componentes do compósito foi minimizada devido ao aumento da área superficial do resíduo através da diminuição com o processo de moagem. Essa melhora na ligação entre os componentes através do aumento da área superficial é essencial para minimizar os efeitos negativos de esforços repentinos causados a materiais compósitos (CHIN, et al., 2019).

4.3 ANÁLISE DE CUSTOS

Os custos referem-se aos gastos da produção de bens ou serviços (YANASE, 2018). Foi realizada uma estimativa do custo de fabricação do compósito, onde, não foram considerados os valores do resíduo têxtil, visto que este é abundante e a maioria das empresas do segmento têxtil normalmente disponibilizam essa matéria prima de forma gratuita. Foi realizada uma comparação entre os processamentos utilizados, considerando as informações dos laboratórios onde foram confeccionados os compósitos. Também, um contraponto entre os valores de mercado de paletes de transporte e capacetes de segurança com o material desenvolvido.

Uma pesquisa de mercado foi realizada para definir o custo do polietileno aplicado neste estudo e do polietileno tradicional. Com base nas informações dos principais fornecedores de resinas poliméricas do estado do Rio Grande do Sul, o valor médio em 10/12/2019, com impostos incluídos, para o PE verde SHC7260 é de R\$10,15 kg. O PE HC7260, a versão tradicional do PE empregado na pesquisa, tem valor médio, com impostos incluídos, de R\$7,50 kg.

Para estimar os custos de processamento de cada método, foi levado em consideração o tempo que cada equipamento leva para produzir 1 kg de material. Para

essa estimativa, foi verificado junto aos laboratórios a capacidade produtiva das máquinas e o custo por hora (Quadro 4).

De acordo com os laboratórios, a estimativa de valor/hora dos equipamentos leva em consideração o consumo energético, calculado com base nas especificações técnicas destes. Além disso, contempla os custos indiretos, como por exemplo o custo do espaço ocupado, água e esgoto, internet, segurança, manutenção predial e de equipamentos, higiene e limpeza, depreciação de máquinas e salários dos funcionários do laboratório (YANASE, 2018).

Para a definição da capacidade do maquinário, foi levada em consideração a confecção do compósito com 20% da massa em fibras, pois este apresentou os melhores resultados de resistência mecânica. Assim, durante o processamento, os tempos de cada processo e a massa total produzida foram anotados, definindo a capacidade de produção de cada equipamento para o material analisado. O valor de custo total por kg produzido foi encontrado dividindo o custo da hora do equipamento pela capacidade produtiva deste.

Quadro 4 – Custo diretos estimado de produção de 1 kg de compósito analisando os processamentos utilizados.

Equipamento	Capacidade (hora)	Custo (hora)	Custo total (kg)
Desfibrador	30 kg	R\$ 44,00	R\$ 1,46
Método 1			
Misturador Drais	2 kg	R\$ 58,00	R\$ 29,00
Prensa Térmica	0,5 kg	R\$ 77,00	R\$ 154,00
Custo total do processamento por kg produzido			R\$ 184,46
Método 2			
Extrusora dupla rosca	3 kg	R\$ 112,00	R\$ 37,34
Moinho de facas	30 kg	R\$ 37,00	R\$ 1,24
Injetora	5 kg	R\$ 92,00	R\$ 18,40
Custo total do processamento por kg produzido			R\$ 58,44

Fonte: Autor (2020).

Analisando o Quadro 4 conclui-se que apesar dos equipamentos do método 1 terem um custo hora mais barato que o método 2, sua menor produção torna o processamento cerca de 216% mais caro. Somando os valores encontrados com o custo do PE verde, calcula-se então R\$192,58 para produzir 1 kg do compósito desenvolvido pelo método 1 e, R\$ 66,56 pelo método 2, aplicando 80% do valor do kg do PE verde, pois 20% do material é de resíduo e seu valor é desconsiderado.

É impossível realizar uma comparação do compósito confeccionado através dos processamentos empregados com os materiais presentes no mercado, isso porque, paletes de transporte e capacetes de segurança normalmente são produzidos através do método de injeção, com injetoras industriais e moldes que permitem uma produtividade muito maior do que os equipamentos de laboratório. Além disso, para obter a matéria prima do compósito desenvolvido serão necessárias novas etapas no processo produtivo desses itens, ocasionando provavelmente um acréscimo nos custos. Por isso, essa comparação foi realizada de uma maneira mais simplificada, feita através de uma análise da substituição do material tradicional pelo compósito desenvolvido, através do levantamento de custos da matéria prima necessária, sem considerar os processamentos.

Foi realizado um levantamento de valores de mercado de um palete de transporte produzido com PEAD tradicional, com dimensões 1,2x1,0x0,15 m, modelo IN1210EX (Figura 41), com 8,0 kg, onde o valor encontrado foi R\$ 125,50. Dessa forma, é possível estimar que a empresa utiliza de matéria prima, cerca de R\$ 60,00, de acordo com os valores levantados. Com o compósito desenvolvido, o valor de matéria prima gasta para confeccionar o mesmo palete de transporte é de R\$ 64,96, cerca de 8% mais caro, salientando que o valor do PEAD verde é 35% superior ao PEAD tradicional. É possível o desenvolvimento do mesmo compósito fazendo uso do PEAD tradicional. Dessa forma o valor em matéria prima reduziria em 20%.

A mesma comparação pode ser realizada com o capacete de segurança. Foi escolhido o modelo H-700 da 3M (Figura 42), com 0,45 kg, peça que foi encontrada por R\$ 38,00, produzida principalmente com o PEAD HC7260. Estima-se que o capacete tenha um custo em matéria prima de R\$3,38 com o material tradicional. Já com o compósito desenvolvido, o valor em matéria prima gasto para desenvolver a mesma

peça seria de R\$3,65. Apesar do custo superior, aplicar o material desenvolvido aprimoraria a capacidade de absorção de impacto do capacete, como demonstrado nos resultados da avaliação mecânica, propriedade que é essencial para o desenvolvimento de capacetes de segurança.

Figura 41 – Palete de transporte confeccionado com PEAD modelo IN1210EX.



Fonte: Autor (2020).

Figura 42 – Capacete de segurança modelo H-700 da 3M



Fonte: Autor (2020).

Apesar de o compósito ter um valor superior ao PE tradicional, suas propriedades superiores possibilitariam uma menor utilização de material, confeccionando paredes de espessura mais fina, obtendo a mesma peça com propriedades semelhantes. Outro ponto importante, além de avaliar os custos envolvidos para o desenvolvimento do material, é ressaltar os ganhos ambientais utilizando materiais mais sustentáveis, pois existe uma urgência em encontrar soluções para o impacto ambiental gerado pela alta produção de resíduos e pela eliminação nos processos produtivos de gases nocivos a atmosfera.

4.4 AVALIAÇÃO AMBIENTAL

O compósito desenvolvido na pesquisa seguiu os preceitos da produção mais limpa, onde buscou uma alternativa de reaproveitamento para o resíduo gerado pelo processo de corte em empresas têxteis. É importante destacar que o uso de fibras naturais, como o algodão, vem ganhando importância como reforço para materiais poliméricos, em parte devido à sua abundância na natureza, são biodegradáveis e, como os resultados demonstraram, geralmente aprimoram as qualidades mecânicas do material (NAJAFI; NASRI; KOTEK, 2017).

Descartar retalhos e aparas na natureza pode ocasionar muitos problemas ambientais, principalmente por todas as transformações que as fibras passam antes de chegar no processo de corte, onde carregam muitos produtos químicos, como a tinturaria presente nos tecidos aplicados nesta pesquisa, a base de enxofre, altamente tóxicos ao meio ambiente. Isso se agrava ainda mais quando são tecidos sintéticos, em que a decomposição pode levar centenas de anos (LEE, 2009). Retirar esses materiais da natureza, aplicando-os em outros fins, pode reduzir um dos graves problemas do segmento têxtil.

Além de buscar diminuir a produção de resíduos, a produção mais limpa tem como uma de suas metas ambientais a redução na emissão de gases de efeito estufa, com o intuito de frear as mudanças climáticas desastrosas. Com esse propósito, foi aplicado na presente pesquisa o PE verde, desenvolvido pela Braskem, um material

com pegada de carbono negativa que tem um enorme potencial para contribuir com uma economia mais sustentável (BORONAT et al., 2015).

A Braskem realizou a avaliação de ciclo de vida (ACV) do plástico verde, apontando que o PE verde produzido pela empresa captura 3,09 kg de CO₂ a cada kg produzido (Quadro 5). Além disso, a indústria da cana-de-açúcar e etanol no Brasil também contribuem para a essa sustentabilidade, pois a cana é normalmente plantada em áreas de pasto degradadas, contribuindo para a recuperação do solo.

Quadro 5 – Contribuição do PE verde para o impacto das mudanças climáticas

Ciclo de vida do PE verde	Etapas	kgCO₂e/kg
Cultivo de cana-de-açúcar	Operações Agrícolas	0,91
	Créditos de mudanças em uso da terra	-1,10
	Absorção de CO ₂	-3,14
		-3,33
Produção do etanol	Produção do etanol	0,03
	Queima do bagaço	0,16
	Créditos de cogeração de eletricidade	-1,17
		-0,98
PE verde	Transporte do etanol	0,46
	Operações industriais (Eteno e PE)	0,76
		1,22
Total de carbono emitido		-3,09

Fonte: Braskem (2017).

O resíduo do processo de moagem da cana é utilizado para a cogeração de energia que abastece as unidades de produção de etanol, tornando o processo autossuficiente energeticamente e, o excedente é enviado à rede, contribuindo com uma matriz energética limpa e eficaz. De acordo com a avaliação realizada pela empresa, o processo de produção do polietileno verde consome ainda 80% de energia proveniente de fonte renovável (BRASKEM, 2017).

Contudo, como apresentado na avaliação econômica e nos ensaios mecânicos, o processo mais viável para o desenvolvimento de peças com o compósito confeccionado é a injeção. Dessa forma, algumas metas da produção mais limpa não

foram alcançadas com o presente projeto, como: Eficiência energética, no que tange a produção do compósito; Produção sem poluição, visto que o processamento de peças em escala seria o mesmo que é aplicado usualmente; Saúde e segurança do trabalho, também considerando que para materiais como paletes de transporte e capacetes de segurança, seria necessário utilizar os mesmo processos industriais atuais (SENAI, 2003).

Porém, outras metas foram alcançadas: Eliminação/redução de resíduos, pois o resíduo têxtil demonstrou um grande potencial como reforço para o polietileno; Produto ambientalmente adequado, tendo em vista que faz uso de resíduos e um polímero menos danoso ao meio ambiente (SENAI, 2003). De maneira quantitativa, é possível concluir que para a produção de um palete de transporte com o material desenvolvido, seriam eliminados da natureza 1,7 kg de resíduo têxtil e ainda, seriam capturados da atmosfera 26,2 kg de CO₂. Já para produzir o capacete de segurança mencionado, 90 g de resíduo têxtil teriam um melhor destino e 1,1 kg de CO₂ seriam captados. Dessa forma, conclui-se que o material apresenta uma enorme capacidade de reduzir o impacto ambiental negativo.

4.5 GERENCIAMENTO DE PROJETOS

Esta seção descreve os reais benefícios que o gerenciamento de projetos, através do *Project Model Cavas*, trouxe para a presente pesquisa. Através de um bom planejamento, que tornou o processo mais simples e claro, todas as adversidades foram contornadas de uma maneira mais efetiva (MALACHIAS, 2013).

Um dos principais problemas enfrentados pelo projeto foi o acesso aos laboratórios, o que fez com que a cronograma para desenvolvimento do material fosse encurtado. Reuniões com as partes interessadas foram realizadas, com o intuito de planejar de maneira otimizada as atividades para a confecção do compósito. Dessa forma, com a pretensão de analisar todas as variáveis propostas, como descrito nos requisitos do projeto, foram definidas as quantidades de amostras, de maneira limitada, mas que atenderam todas as necessidades do projeto.

Ainda nos requisitos, o material demonstrou o potencial mecânico almejado e, os processamentos estudados mostraram-se viáveis para a produção de um compósito de

PEAD verde reforçado com resíduos têxteis. Quanto a parte de restrições, o material disponível foi o suficiente para o desenvolvimento de todas às análises realizadas, sobrando ainda cerca de 10 kg que foram doados para os laboratórios executarem futuras pesquisas. Já as restrições de cronograma foram todas respeitadas, de forma a reafirmar o bom planejamento executado.

Os grupos de entrega seguiram a linha do tempo estipulada, houve apenas uma pequena alteração, pois, algumas análises foram realizadas no mês de dezembro, aumentando em um mês o prazo para finalização destas. O custo estimado foi respeitado, principalmente porque todas às análises não foram cobradas e, todos os custos de viagens para reuniões, elaboração e ensaios do compósito totalizaram R\$1.257,00.

Quanto aos riscos do projeto, nenhum risco previsto ocorreu. Todos os equipamentos funcionaram perfeitamente, atendendo dessa forma o prazo estipulado. De maneira geral, todos os objetivos foram concluídos e, os benefícios futuros do material desenvolvido podem ser alcançados como o planejado. O PMC demonstrou-se útil para planejar projetos acadêmicos, tornou o processo mais simples e, limitou as atividades, evitando desvios que poderiam atrasar o projeto.

5 CONCLUSÃO

O objetivo proposto pela pesquisa foi atingido. Foi elaborado um compósito a partir dos resíduos provenientes do processo de corte de uma indústria têxtil, o qual serviu como reforço para o polietileno verde de alta densidade. Foram seguidas as práticas da produção mais limpa, pois buscou a fabricação de um material com aproveitamento de resíduos e ecologicamente mais sustentável. Para o planejamento e execução das atividades, a pesquisa fez uso de ferramentas do gerenciamento de projetos, o que tornou processo mais claro para todos os envolvidos, otimizou as atividades e fez com que o projeto não perdesse o foco.

Todas as variáveis propostas foram analisadas e comparadas, às diferentes proporções de reforço/matriz, duas composições de resíduo e ainda, dois processamentos para a confecção do material. Sem nenhum tipo de tratamento das fibras ou emprego de agentes de acoplamento, o material desenvolvido apresentou ótimos resultados de flexão, tração e impacto, e dessa forma, foram definidas então as melhores variáveis para o material.

A etapa de avaliação técnica teve início com as análises térmicas de TGA e DSC, que demonstraram que o compósito apresenta maior resistividade térmica do que o PE sem reforço. Nos resultados de TGA o compósito com 20% de fibra 100% algodão apresentou a maior temperatura de degradação total do conjunto (480,7°C). Na análise de DSC a maior temperatura de fusão foi encontrada na amostra 6, com presença de poliéster na composição do tecido (145,5°C).

Para o ensaio de flexão, todas as variáveis de compósitos desenvolvidas apresentaram melhores propriedades que o polietileno verde. Na comparação entre as proporções analisadas, o compósito teve ganhos de propriedades conforme o aumento das fibras, apresentando 27,03 MPa de resistência à tração e 1780 MPa de módulo de elasticidade com 20% de massa em fibras. No comparativo entre as composições dos resíduos, não houve diferença significativa entre as amostras 3 e 6, contudo, com 30% de poliéster em sua composição, apresentou módulo e alongamento ligeiramente melhores, 1072 MPa e 6,24%, demonstrando que as características elásticas do

poliéster influenciaram no material, já o resíduo 100% algodão promoveu uma melhor resistência (21,86 MPa).

Nos resultados de tração, o aumento da resistência e do módulo de tração foram progressivos em relação à quantidade de fibras presentes no PE, obtendo 30,94 MPa e 970,3 respectivamente com 20% de massa em fibras. Na avaliação das diferentes composições, o resíduo com 100% algodão apresentou propriedades ligeiramente melhores, 25,18 MPa de resistência e 732,6 MPa de módulo, como já era esperado pois, o algodão possui melhores propriedades de flexão que o poliéster, porém, as variações podem ser desconsideradas levando em conta o desvio padrão. Na comparação entre os processamentos a injeção proporcionou melhores propriedades ao material, apresentando 25% de superioridade na resistência, aproximadamente 43% em módulo e um maior alongamento. Concluindo, que para as propriedades de tração, é essencial uma boa interação entre os componentes, proporcionada pelo encurtamento das fibras para o processo de injeção.

Assim como nas outras análises mecânicas, os resultados de impacto também demonstraram o melhor valor de resistência com 20% de massa em fibras, resultando em 76,44 J/m. O resíduo 100% algodão apresentou uma resistência ao impacto 30% superior ao resíduo com poliéster, ressaltando a maior resistência que o algodão promove para o compósito. E no comparativo entre os processamentos, a injeção promoveu um material 58% superior à prensagem térmica, concluindo que o encurtamento das fibras promoveu uma melhor ligação entre os componentes.

Sob o ponto de vista dos custos para desenvolvimento do compósito, o material proposto apresenta características atrativas, apesar do custo elevado do polietileno verde, a substituição do PE tradicional pelo compósito desenvolvido elevaria os custos de matéria prima em 8%, contudo haveria enormes ganhos ambientais e mecânicos. Na análise dos processamentos, a prensagem a quente utilizada demonstrou ser inviável economicamente, pois sua baixa capacidade produtiva eleva os custos do processo, sendo a injeção o melhor método para o desenvolvimento de peças com o material desenvolvido.

Quanto à avaliação ambiental do compósito, esta foi positiva, pois algumas metas ambientais da produção mais limpa foram alcançadas. O aproveitamento do

resíduo que seria descartado e a utilização do polímero verde promoveriam uma enorme redução do impacto ambiental negativo gerado pelo descarte incorreto da fibra e pela utilização do polímero tradicional. A cada kg do material desenvolvido, 200g de resíduos deixariam de ir para a natureza e cerca de 3kg de CO₂ seriam retirados da atmosfera, contribuindo para uma diminuição na poluição e no aquecimento global.

Analisando todas as informações obtidas, é possível concluir que o melhor compósito desenvolvido foi a amostra 5, com 20% de massa em fibras, resíduo 100% algodão e produzido com o método da injeção. Além de apresentar as melhores propriedades mecânicas, é o material com menor custo e maiores possibilidades de ganhos ambientais. O método da injeção possibilitaria desenvolver peças com geometrias mais complexas e garantiria uma maior uniformidade na produção.

Contudo, a pequena variação entre os resultados da comparação entre as composições dos resíduos demonstram que a composição não foi uma variável com relevância. Dessa forma, entre as composições investigadas, ambas poderiam ser perfeitamente empregadas. O que facilitaria também no momento de separação do resíduo após o processo de corte em uma indústria têxtil.

O compósito está em fase de desenvolvimento inicial e ainda deve passar por processos de aprimoramento. Porém, o mesmo apresenta características mecânicas muito atrativas para usos comerciais, como em paletes de transporte, capacetes de segurança e quaisquer outras aplicações que exijam uma boa resistência mecânica onde hoje é empregado o PEAD tradicional.

5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Para melhor caracterização, submeter o material desenvolvido a análises de abrasão e resistência química;
- Analisar a influência proporcionada pelos diferentes tipos de tinturaria dos resíduos têxteis;
- Realizar uma análise de ciclo de vida para o compósito elaborado;
- Analisar outras composições de resíduo com o intuito de verificar se qualquer fibra têxtil poderia ser empregada para o desenvolvimento de compósitos poliméricos;

- Fazer uma análise de viabilidade econômica, avaliando se o material desenvolvido traria retorno financeiro ao investidor;
- Analisar processos produtivos possíveis para o desenvolvimento do compósito em larga escala.

REFERÊNCIAS

- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 9001**: sistema de gestão da qualidade: requisitos. Rio de Janeiro, RJ: ABNT, p. 9, outubro 2015.
- ABIT. Associação brasileira da indústria têxtil e de confecção. **Cartilha Indústria Têxtil**. Disponível em: <<http://www.abit.org.br>>. Acesso em: 20 mai. 2018.
- ABIPLAST. Associação brasileira da indústria do plástico. **Perfil 2016: Indústria brasileira de transformação de material plástico**. São Paulo: Abiplast, 2017. Disponível em: < <http://www.abiplast.org.br/abiplast>>. Acesso em: 12 nov. 2018.
- ABRAPA. Associação Brasileira dos Produtores de Algodão. **Algodão no Brasil**. Disponível em <<http://www.abrapa.com.br/estatisticas/Paginas/default.aspx>>. Acesso em 10 jun. 2018.
- AJI, I. S. et al. Mechanical properties and water absorption behavior of hybridized kenaf/pineapple leaf fibre-reinforced high-density polyethylene composite. **Journal of Composite Materials**. v. 47, n. 8, p. 979-990, 2013. Disponível em:< <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/0021998312444147>>. Acesso em; 17 dez. 2018.
- AMARAL, D. C. et al. **Gerenciamento ágil de projetos: aplicação em produtos inovadores**. São Paulo: Saraiva, 2011.
- ANDRADE, G.; BORELLI, C.; GIACOMINI, R. Um novo sensor têxtil de toque para aplicação em vestuário. **2º CONGRESSO CIENTÍFICO TÊXTIL E DE MODA**, v. 1, 2014. Disponível em: <<http://www.contextmod.net.br/index.php/segundo/article/view/188>>. Acesso em: 8 jun. 2018.
- ANICET, A. et al. Upcycling de fios de malharia retilínea em produtos de moda sustentável. In: 2o. CIMODE-Internacional Fashion and Design Congress, 2014, Milão - Itália. **Anais 2o. CIMODE-Internacional Fashion and Design Congress**, 2014. p. 2420-2429. Disponível em:< https://www.eko.polimi.it/public/files/cimode2014/CIMODE%202014_PROCEEDINGS.pdf>. Acesso em: 12 out. 2018.
- ARPITHA, G. R.; YOGESHA, B. An Overview on Mechanical Property Evaluation of Natural Fiber Reinforced Polymers, **MaterialToday:Proceedings**, v. 4, n. 2, p. 2755-2760, 2017. Disponível em: < <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S221478531730353X>>. Acesso em: 4 jun. 2018.
- ASKELAND, D. R.; WRIGHT, W. J. **Ciência e engenharia de materiais**, tradução da 3ª edição Norte Americana, São Paulo, Cengage Learning, 2014.

ASTM, American Society for Testing and Materials. **ASTM D256 - 10**: Standard Test Methods for Determining Izod Pendulum Impact Resistance of Plastics. West Conshohocken, 2018.

ASTM, American Society for Testing and Materials. **ASTM D638 - 14**: Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics. West Conshohocken, 2010.

ASTM, American Society for Testing and Materials. **ASTM D790 - 17**: Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials. West Conshohocken, PA, 2015.

AZAMAN, M. D., et al. An investigation of the processability of natural fibre reinforced polymer composites on shallow and flat thin-walled parts by injection moulding process. **Materials & Design**, v. 50, p. 451-456, 2013. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0261306913002367>>. Acesso em: 15 nov. 2019.

BALLA, V. K., et al. Additive manufacturing of natural fiber reinforced polymer composites: Processing and prospects. **Composites Part B**, v. 174, p. 1-29, 2019. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1359836819310017>>. Acesso em: 10 dez. 2019.

BARBIERI, J. C. **Gestão ambiental empresarial: conceitos, modelos instrumentos**. 2. ed. São Paulo: Saraiva, 2007. 376 p.

BERRADI, M., et al. Textile finishing dyes and their impact on aquatic environs. **Heliyon**, v. 5, n. 11, 2019. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844019363716>>. Acesso em: 02 jan. 2020.

BORONAT, T. et al. Development of a biocomposite based on green polyethylene biopolymer and eggshell. **Materials & Design**. v. 68, p. 177-185, 2015. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0261306914010115>>. Acesso em: 15 out. 2018.

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: Ciência e Tecnologia**, São Paulo, v. 21, n. 4, p. 271-279, 2011. Disponível em: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=47021105011>>. Acesso em: 30 mar. 2018.

BRASIL. Congresso Nacional. **Lei n. 12.305**, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Brasília, 2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>. Acesso em: 8 out. 2017.

BRASKEM. **Polietileno verde I'm Green (PE verde I'm Green)**. 2017. Disponível em: <<http://www.braskem.com/site.aspx/PE-Verde-Produtos-e-Inovacao>>. Acesso em: 13 ago. 2018.

BRITO, G. F. et al. Biopolímeros, Polímeros Biodegradáveis e Polímeros Verdes. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**. v. 6.2, p. 127-139, 2011. Disponível em: <<http://www2.ufcg.edu.br/revista-remap/index.php/REMAP/article/viewFile/222/204>>. Acesso em: 12 jan. 2019.

CALEGARI, E. P.; OLIVEIRA, B. F. Compósitos a partir de materiais de fontes renováveis como alternativa para o desenvolvimento de produtos, **Sustentabilidade em debate**. Brasília, v. 7, n. 1, p. 140-155, 2016. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/142321/000992228.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 9 de out. 2017.

CALLISTER Jr. D. W. RETHWISCH, G., D. **Ciência e Engenharia de Materiais - Uma Introdução**. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

CARBONELL-VERDÚ, A., et al. Development of slate fiber reinforced high density polyethylene composites for injection molding. **Composites Part B: Engineering**, v. 69, p. 460-466, 2015. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S135983681400482X>>. Acesso em: 20 nov. 2019.

CASTRO, D. O; RUVOLLO-FILHO, A.; FROLLINI, E. Materials prepared from biopolyethylene and curaua fibers: Composites from biomass. **Polymer Testing**. v. 31, n. 7, p. 880-888, 2012. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0142941812000967>>. Acesso em: 25 set. 2018.

CHIN, S. C., et al. Thermal and Mechanical Properties of Bamboo Fiber Reinforced Composites. **Materials Today**. Communications Available online 24 December 2019, 100876. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352492819314837>>. Acesso em: 12 dez. 2019.

CHUNG, D. D. L. A review of multifunctional polymer-matrix structural composites. **Composites Part B**, v. 160, p. 644-660, 2019. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359836818309855>>. Acesso em: 25 set. 2019.

CONMETRO. Conselho Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial. **Resolução n.º 02**, de 6 de maio de 2008. Ministério do desenvolvimento, indústria e comércio exterior conselho nacional de metrologia, normalização e qualidade industrial. São Paulo, 2008. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/legislacao/resc/pdf/RESC000213.pdf>>. Acesso em: 4 ago. 2018.

COUTINHO, F. M. B. et al. Polietileno: principais tipos, propriedades e aplicações. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**. v. 13, p. 1-13, 2003. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-14282003000100005>. Acesso em: 02 dez. 2018.

DA SILVA, T. F., et al. Effect of lignin as accelerator of the biodegradation process of poly(lactic acid)/lignin composites. **Materials Science and Engineering: B**, v. 251, 114441, 2019. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921510719302442>>. Acesso em: 11 nov. 2019.

D'ÁVILA, M. **PMBOK e Gerenciamento de Projetos**. Revisão 8. São Paulo, 2015.

DIAS, R. **Eco-inovação: caminho para o crescimento sustentável**. São Paulo, ed. Atlas, 2014.

DRZEZDZON, J., et al. Characterization of polymers based on differential scanning calorimetry based techniques. **TrAC Trends in Analytical Chemistry**, v. 110, p. 51-56, 2019. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0165993618303832>>. Acesso em: 23 nov. 2019.

ECHEVERRIA, C. A. et al. Cascading use of textile waste for the advancement of fibre reinforced composites for building applications. **Journal of Cleaner Production**. v. 208, p. 1524-1536, 2019. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652618332530>>. Acesso em: 8 fev. 2019.

EDER, S. et al. Estudo das práticas de gerenciamento de projetos voltadas para desenvolvimento de produtos inovadores. **Produto & Produção**. v. 13, n. 1, p. 148-165, 2012. Disponível em: <<https://seer.ufrgs.br/ProdutoProducao/article/view/24600/15378>>. Acesso em: 02 out. 2018.

ELANCHEZHIAN, C. et al. Review on mechanical properties of natural fiber composites. **Materials Today: Proceedings**. v. 5, n. 1, p. 1785-1790, 2018. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785317325440>>. Acesso em: 7 jun. 2018.

ELLIS, G. **Project Management in Product Development: Leadership Skills and Management Techniques to Deliver Great Products**. Radford: Butterworth-Heinemann, 2019. 2-18 p.

ELZUBAIR, A.; SUAREZ, J. C. M. Mechanical behavior of recycled polyethylene/piassava fiber composites. **Materials Science and Engineering: A**. v. 557, p. 29-35, 2012. Disponível em: <

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921509312008957>>. Acesso em: 19 out. 2018.

EPA. Environmental Protection Agency US. **Municipal solid waste in the United States: 2011 facts and figures**. Publicado em 2011. Disponível em <http://www.epa.gov/wastes/nonhaz/municipal/pubs/MSWcharacterization_fnl_060713_2_rpt.pdf> Acesso em: 9 out. 2017.

FINKLER, M. et al. Compósitos de HDPE com resíduos de fibras têxteis. Parte I: caracterização mecânica. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**. v. 15, n. 3, p. 171-175, 2005. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0104-14282005000300006&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em: 12 jun. 2018.

FREIRE, E.; LOPES, G. B. Implicações da Política Nacional de Resíduos Sólidos para as práticas de gestão de resíduos no setor de confecções. **REDIGE – Revista de Design, Inovação e Gestão Estratégica**, v.4, n.3, 2013. Disponível em: <www2.cetiqt.senai.br/ead/redige/index.php/redige/article/view/190/234>: Acesso em 10 out. 2017.

GENÇ, E., DI BENEDETTO, C. A. Cross-functional integration in the sustainable new product development process: The role of the environmental specialist. **Industrial Marketing Management**. v. 50, p. 150-161, 2015. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0019850115001698>>. Acesso em: 17 jun. 2018.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

GOMES, L. G.; LIMA, L. B.; FRANCO, E. A. P. Gestão ambiental corporativa: análise da aplicação da metodologia de produção mais limpa (P+L). **E-xacta**, v. 9, n. 2, p. 83-100, 2016. Disponível em: <<http://revistas2.unibh.br/index.php/dcet/article/view/1814/1060>>. Acesso em: 25 jul. 2017.

GUARATINI, C. C. I.; ZANONI, M. V. B. Corantes têxteis. **Química Nova**, v. 23, n. 1, 2000. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422000000100013>. Acesso em: 02 jan. 2020.

GUIMARÃES, J. C. F. de; SEVERO, E. A.; VIEIRA, A. S. Cleaner production, project management and Strategic Drivers: An empirical study, **Journal of Cleaner Production**, v. 141, p. 881-890, 2017. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652616315074>>. Acesso em: 10 mai. 2018.

HENS, L. et al. On the evolution of “Cleaner Production” as a concept and a practice. **Journal of Cleaner Production**, v. 172, p. 3323-3333, 2018. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652617327427>>. Acesso em: 23 dez. 2018.

HO, M., et al. Critical factors on manufacturing processes of natural fibre composites. **Composites Part B: Engineering**, v. 43, n. 8, p. 3549-3562, 2012. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1359836811004483>>. Acesso em: 23 nov. 2019.

HOLAHAN, P. J. et al. Product development as core competence: How formal product development practices differ for radical, more innovative, and incremental product innovations. **Journal of Product Innovation Management**. v. 31(2), n. 2, p. 329-345, 2014. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/jpim.12098>>. Acesso em: 15 jun. 2018.

KALIA, S. et al. Surface modification of plant fibers using environment friendly methods for their application in polymer composites, textile industry and antimicrobial activities: A review, **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 1, n. 3, p. 97-112, 2013. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2213343713000213>>. Acesso em: 27 mai. 2018.

KOLLTVEIT, B.; KARLSEN, J.; GRONHAUG, K. Perspectives on project management. **International Journal of Project Management**, v. 25, n. 1, p. 3-9, 2007. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0263786305001298>>. Acesso em: 13 out. 2018.

KRISHNASAMY, S., et al. Recent advances in thermal properties of hybrid cellulosic fiber reinforced polymer composites. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 141, p. 1-13, 2019. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141813019344691>>. Acesso em: 23 nov. 2019.

KU, H. et al. A review on the tensile properties of natural fiber reinforced polymer composites, **Composites Part B: Engineering**, v. 42, n. 4, p. 856- 873, 2011. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359836811000382>>. Acesso em: 28 mai. 2018.

KUCIEL, S.; JAKUBOWSKA, P.; KUZNIAR, P. A study on the mechanical properties and the influence of water uptake and temperature on biocomposites based on polyethylene from renewable sources. **Composites Part B: Engineering**. v. 64, p. 72-77, 2014. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359836814001425>>. Acesso em: 30 out. 2018.

KUMAR, A.; HOLUSZKOA, M.; ESPINOSA, D. C. R. E-waste: An overview on generation, collection, legislation and recycling practices. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 122, p. 32-42, 2017. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344917300290>>. Acesso em: 12 out. 2017.

LAU, K. et al. Properties of natural fibre composites for structural engineering applications. **Composites Part B: Engineering**. v. 136, p. 222-233, 2018. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359836817333267>>. Acesso em: 04 jan. 2019.

LEE, M. **Eco Chic: o guia de moda ética para a consumidora consciente**. São Paulo: Larousse do Brasil, 2009.

LEUNG, S. N. Thermally conductive polymer composites and nanocomposites: Processing-structure-property relationships. **Composites Part B: Engineering**. v. 150, p. 78-92, 2018. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359836818311223>>. Acesso em: 03 dez. 2018.

LIU, J. et al. Current advances and future perspectives of 3D printing natural-derived biopolymers. **Carbohydrate Polymers**. v. 207, p. 297-316, 2019. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0144861718314103>>. Acesso em: 12 fev. 2019.

MALACHIAS, I. **Project Model Canvas: Planejamento em uma folha**. Revista Mundo Project Management, Curitiba, nº 49, ano 8, Fev./Mar, 2013

MALHOTRA, N.; SHEIKH, K.; RANI, S. A review on mechanical characterization of natural fiber reinforced polymer composites, **Journal of Engineering Research and Studies**, v. 3, n. 1, p. 75-80, 2012. Disponível em: <<http://www.technicaljournalonline.com/jers/VOL%20III/JERS%20VOL%20III%20ISSUE%20I%20JANUARY%20MARCH%202012/Article%2015%20JERS%20Vol%20III%20Issue%20I.pdf>>. Acesso em: 3 jun. 2018.

MATOS, L. M. et al. Implementation of cleaner production: A ten-year retrospective on benefits and difficulties found. **Journal Of Cleaner Production**. v. 187, p. 409-420, 2018. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652618308527>>. Acesso em: 4 jun. 2018.

MEDEIROS, J. F. et al. Proposal of a Novel Reference System for the Green Product Development Process (GPDP). **Journal of Cleaner Production**, v. 187, p. 984-995, 2018. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652618309144>>. Acesso em: 16 jun. 2018.

MOHSIN, M. A. A.; LANNUCCI, L.; GREENHALGH, E. S. Fibre-volume-fraction measurement of carbon fibre reinforced thermoplastic composites using thermogravimetric analysis. **Heliyon**, v. 5, n. 1, p. 11-32, 2019. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844018360808>>. Acesso em: 01 dez. 2019.

NAJAFI, M.; NASRI, L.; KOTEK, R. 9 – High-performance nylon fibers. **Structure and Properties of High-Performance Fibers**, p. 199–244, 2017. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780081005507000097>>. Acesso em: 14 out. 2017.

NANDARAGI, S. R.; REDDY, B.; NARAYANA, K. B. Fabrication, testing and evaluation of mechanical properties of woven glass fibre composite material. **Materials Today: Proceedings**. v. 5, n. 1, p. 2429-2434, 2018. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S221478531732254X>>. Acesso em: 07 jun. 2018.

NETO, O. G. **Análise de Custos**. Curitiba: IEDSDE Brasil S. A., 2008.

OLIVEIRA, S. A.; MACEDO, J. R. N.; ROSA, D. S. Eco-efficiency of poly (lactic acid)-Starch-Cotton composite with high natural cotton fiber content: Environmental and functional value. **Journal of Cleaner Production**. v. 217, p. 32-41, 2019. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652619302458>>. Acesso em: 06 dez. 2018.

OZTURK, E. et al. Sustainable textile production: cleaner production assessment/eco-efficiency analysis study in a textile mil. **Journal of Cleaner Production**. v. 138, p. 248-263, 2016. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652616002481>>. Acesso em: 10 abr. 2018.

PADALKAR, M.; GOPINATH, S. Six decades of project management research: Thematic trends and future opportunities. **International Journal of Project Management**. v. 34, n. 7, p. 1305-1321, 2016. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S026378631630045X>>. Acesso em: 12 dez. 2018.

PAPPU, A.; PICKERING, K. L.; THAKUR, V. K. Manufacturing and characterization of sustainable hybrid composites using sisal and hemp fibres as reinforcement of poly (lactic acid) via injection moulding. **Industrial Crops and Products**, v. 137, p. 260-269, 2019. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926669019303747>>. Acesso em: 21 nov. 2019.

PEÑA-PICHARDO, P. et al. Recovery of cotton fibers from waste Blue-Jeans and its use in polyester concrete. **Construction and Building Materials**. v. 177, p.409-416, 2018. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061818312121>>. Acesso em: 12 nov. 2018.

PETRUCCI, R. et al. Tensile and fatigue characterisation of textile cotton waste/polypropylene laminates. **Composites Part B: Engineering**. v. 81, p. 84-90, 2015. Disponível em:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359836815004059>>. Acesso em: 13 nov. 2018.

PMBOK. **Um guia do conhecimento em gerenciamento de projetos**. 5ª ed. EUA: Project Management Institute, 2013.

POLLETO, M.; ORNAGHI, H. L.; ZATTERA, A. J. Native Cellulose: Structure, Characterization and Thermal Properties. **Materials**, v. 7, p. 6105-6119, 2014. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5456159/>>. Acesso em: 21 nov. 2019.

PUJADAS, P., et al. Fibre distribution in macro-plastic fibre reinforced concrete slab-panels. **Construction and Building Materials**, v. 64, p. 496-503, 2014. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061814003845>>. Acesso em: 22 nov. 2019.

RASNACIS, A.; BERZISA, S. Method for Adaptation and Implementation of Agile Project Management Methodology. **Procedia Computer Science**. v. 104, p. 43-50, 2017. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S187705091730056X>>. Acesso em: 11 dez. 2018.

ROSA, L. C. et al. Use of rice husk and sunflower stalk as a substitute for glass wool in thermal insulation of solar collector. **Journal of Cleaner Production**, v. 104, p. 90-97, 2015. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652615005028>>. Acesso em: 15 jul. 2017.

ROY, R. **Consumer product innovation and sustainable design: the evolution and impacts of successful products**. Oxon (UK): routledge, 2016.

SABA, N.; JAWAID, M. A review on thermomechanical properties of polymers and fibers reinforced polymer composites. **Journal of Industrial and Engineering Chemistry**. v. 67, n. 25, p. 1-11, 2018. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1226086X18303083>>. Acesso em: 12 dez. 2018.

SAMAL, S., et al. Impact and post impact behavior of fabric reinforced geopolymer composite. **Construction and Building Materials**, v. 127, p. 111-124, 2016. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061816315963>>. Acesso em: 12 out. 2019.

SANJAY, M. R., et al. Characterization and properties of natural fiber polymer composites: A comprehensive review. **Journal of Cleaner Production**, v. 172, p. 566-581, 2018. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652617323946>>. Acesso em: 16 nov. 2019.

SANTOS, J. A.; FILHO, D. P. **Metodologia científica**. 2. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2011. 251 p.

SANTOS, P.; CABRAL, A. Inclusão do indicador "impactos ambientais" na ferramenta "Diagnóstico do Sistema Embalagem": um estudo de caso em vinícola. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 18, n. 1, p. 75-82, 2013. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522013000100009&lng=pt&tlng=pt>. Acesso em: 16 out. 2017.

SATISH, G. J.; N. NAGESHA, N. Cleaner Production: A brief literature review. **Materials Today: Proceedings**. v. 5, n. 9, p. 17944-17951, 2018. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785318312343>>. Acesso em: 25 abr. 2018.

SAVAS, L. A.; TAYFUN, U.; DOGAN, M. The use of polyethylene copolymers as compatibilizers in carbon fiber reinforced high density polyethylene composites. **Composites Part B: Engineering**. v. 99, p. 188-195, 2016. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359836816309490>>. Acesso em: 17 dez. 2018.

SAYEED, M. M. A.; Sayem, A. S. M.; Haider, J. Opportunities With Renewable Jute Fiber Composites to Reduce Eco-Impact of Nonrenewable Polymers. **Reference Module in Materials Science and Materials Engineering**, 2019. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128035818115838>>. Acesso em: 12 nov. 2019.

SENAI. SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL. **Implementação de programas de produção mais limpa**. Porto Alegre: Centro Nacional de Tecnologias Limpas SENAI-RS/UNIDO/INEP, 2003.

SERRA, A. et al. Behavior of the interphase of dyed cotton residue flocks reinforced polypropylene composites. **Composites Part B: Engineering**. v. 128, p. 200-207, 2017. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359836817313835>>. Acesso em: 3 jan. 2019.

SERRANO, A., et al. Estimation of the interfacial shears strength, orientation factor and mean equivalent intrinsic tensile strength in old newspaper fiber/polypropylene composites. **Composites Part B: Engineering**, v. 50, p. 232-238, 2013. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1359836813000735>>. Acesso em: 13 nov. 2019.

SHAH, D. U. Developing plant fibre composites for structural applications by optimising composite parameters: a critical review. **Journal of Materials Science**, v. 48, n. 18, p. 6083-6107, 2013. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s10853-013-7458-7>>. Acesso em: 02 nov. 2019

SHARMA, S. et al. Recent Progress of Composite Materials in various Novel Engineering Applications. **Materials Today: Proceedings**. v. 5, n. 14, p. 28195-28202, 2018. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785318323514>>. Acesso em: 15 out. 2018.

SHETTY, N. et al. A review on finite element method for machining of composite materials. **Composite Structures**, v. 176, p. 790-802, 2017. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S026382231630277X>>. Acesso em: 21 mai. 2018.

SMITH, F., W., HASHEMI, J. **Fundamentos de Engenharia e Ciência dos Materiais**. 5. ed. Porto Alegre: AMGH, 2012.

SOOD, M.; DWIVEDI, G. Effect of fiber treatment on flexural properties of natural fiber reinforced composites: A review. **Egyptian Journal of Petroleum**. v. 27, n. 4, p. 775-783, 2018. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1110062117301939#s0030>>. Acesso em: 23 nov. 2018.

SOOD, M.; DEEPAK, D.; GUPTA, V. K. Tensile properties of sisal fiber/recycled polyethylene (high density) composite: Effect of fiber chemical treatment. **Materials Today: Proceedings**, v. 5, n. 2, p. 5673-5678, 2018. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785317331474>>. Acesso em: 23 nov. 2019.

SOGANCIOGLU. M.; YEL, E.; AHMETLI, G. Pyrolysis of waste high density polyethylene (HDPE) and low density polyethylene (LDPE) plastics and production of epoxy composites with their pyrolysis chars. **Journal of Cleaner Production**. v. 165, p. 369-381, 2017. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652617316037>>. Acesso em: 14 out. 2018.

SOUZA, A. M. et al. Wood-based composite made of wood waste and epoxy based ink-waste as adhesive: A cleaner production alternative. **Journal of Cleaner Production**. v. 193, p. 549-562, 2018. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652618314239>>. Acesso em: 14 set. 2018.

SPUNDAK, M. Mixed Agile/Traditional Project Management Methodology – Reality or Illusion?. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**. v.119, p. 939-948, 2014. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S187704281402196X>>. Acesso em: 11 dez. 2018.

TAGLIARI, L. D., et al. Processo de produção mais limpa no setor jato de granalha em uma empresa metal mecânica. **Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia**,

Espírito Santo do Pinhal, v. 12, n. 1, p. 147-163, 2015. Disponível em: <<http://ferramentas.unipinhal.edu.br/engenhariaambiental/viewarticle.php?id=1122&layout=abstract>>. Acesso em: 13 set. 2017.

TIAN, X. et al. Recycling and remanufacturing of 3D printed continuous carbon fiber reinforced PLA composites. **Journal Of Cleaner Production**. v. 142, p. 1609-1618, 2017. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652616320017>>. Acesso em: 19 nov. 2018.

UNEP. United nations environment programmas. **ABC OF SCP: Clarifyng Concepts on Sustainable Consumption and Production**. Paris, 2012. Disponível em: <<https://sustainabledevelopment.un.org/index.php?page=view&type=400&nr=945&menu=1515>>. Acesso em: 13 out. 2018.

WANG, Y. **Recycling in Textiles**. Cambridge: Woodhead Publishing, 2006, 230 p.

YANASE, J. **Custos e formação de preços**: importante ferramenta para tomada de decisões. 1. ed. São Paulo: Trevisan Editora, 2018, 164 p.

ZHANG, P.; LI, G. Advances in healing-on-demand polymers and polymer composites. **Progress in Polymer Science**. v. 57, p. 32-63, 2016. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0079670015001276>>. Acesso em: 14 out. 2018.

ZHANG, Q. et al. Properties comparison of high density polyethylene composites filled with three kinds of shell fibers. **Results in Physics**. v. 12, p. 1542-1546, 2019. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211379718313470>>. Acesso em: 13 dez. 2019.