



UNIVERSIDADE FEDERAL DO SUL E SUDESTE DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS E ENGENHARIAS
FACULDADE DE ENGENHARIA DE MATERIAIS

GLACIANE MIRANDA DE OLIVEIRA

**COMPORTAMENTO EM TRAÇÃO E IMPACTO DE MATERIAIS COMPÓSITOS
DE MATRIZ POLIÉSTER E ADIÇÃO DE CARGAS OBTIDAS A PARTIR DA
COMINUIÇÃO DE FIBRAS VEGETAIS DE ESTOPEIRO (*Vochysia paraensis*), E
ALGODÃO BRABO (*Cochlos permum*)**

MARABÁ- PA
2018

UNIVERSIDADE FEDERAL DO SUL E SUDESTE DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS E ENGENHARIAS
FACULDADE DE ENGENHARIA DE MATERIAIS

GLACIANE MIRANDA DE OLIVEIRA

**COMPORTAMENTO EM TRAÇÃO E IMPACTO DE MATERIAIS COMPÓSITOS
DE MATRIZ POLIÉSTER E ADIÇÃO DE CARGAS OBTIDAS A PARTIR DA
COMINUIÇÃO DE FIBRAS VEGETAIS DE ESTOPEIRO (*Vochysia paraensis*), E
ALGODÃO BRABO (*Cochlos permum*)**

Trabalho de Conclusão de
Curso apresentado para obtenção do
grau de Bacharel em Engenharia de
Materiais, no Instituto de Geociências e
Engenharias da Universidade Federal
do Sul e Sudeste do Pará. Orientador:
Prof. Msc. Márcio Paulo de Araújo
Mafra.

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Biblioteca II da UNIFESSPA. CAMAR, Marabá, PA

Oliveira, Glaciane Miranda de

Comportamento em tração e impacto de materiais compósitos de matriz poliéster e adição de cargas obtidas a partir da cominuição de fibras vegetais de estopeiro e algodão brabo (*Cochlos permum*) / Glaciane Miranda de Oliveira; orientador, Márcio Paulo de Araújo Mafra. — 2018.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, Campus Universitário de Marabá, Instituto de Geociências e Engenharias, Faculdade de Engenharia de Materiais, Curso de Engenharia de Materiais, Marabá, 2018.

1. Polímeros. 2. Materiais compostos. 3. Algodão - Fiação. 4. Reaproveitamento (Sobras, refugos, etc.). 5. Engenharia de materiais. I. Mafra, Márcio Paulo de Araújo, orient. II. Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará. III. Título.

CDD: 22. ed.: 620.192

GLACIANE MIRANDA DE OLIVEIRA

**COMPORTAMENTO EM TRAÇÃO E IMPACTO DE MATERIAIS COMPÓSITOS
DE MATRIZ POLIÉSTER E ADIÇÃO DE CARGAS OBTIDAS A PARTIR DA
COMINUIÇÃO DE FIBRAS VEGETAIS DE ESTOPEIRO (*Vochysia paraensis*), E
ALGODÃO BRABO (*Cochlos permum*)**

Trabalho de Conclusão de
Curso apresentado para obtenção do
grau de Bacharel em Engenharia de
Materiais, no Instituto de Geociências e
Engenharias da Universidade Federal
do Sul e Sudeste do Pará. Orientador:
Prof. Msc. Márcio Paulo de Araújo
Mafra.

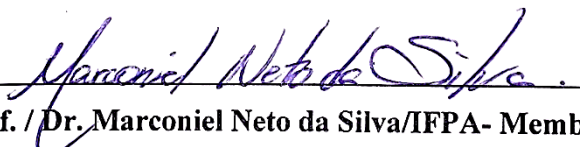
Data de aprovação: 13 de março de 2018

Conceito: EXCELENTE

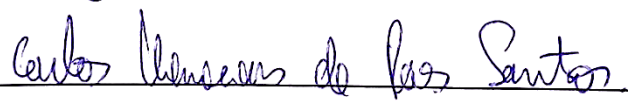
Banca examinadora:



Prof. Msc. Márcio Paulo de Araújo Mafra / UNIFESSPA - Orientador



Prof. / Dr. Marconiel Neto da Silva/IFPA- Membro externo



Prof. Esp. Carlos Vinicius de Paes Santos/ IFPA- Membro externo

Fazer ou não fazer algo, somente depende de nossa vontade e perseverança.

Albert Einstein

AGRADECIMENTOS

Todos que passam em nossas vidas, de alguma forma, nos ensinam. Ensinaamentos que, às vezes aparentemente simples, ajudam na nossa formação. Pela observação das pessoas ao nosso redor percebemos suas características e muitas vezes ressaltamos seus defeitos. Entretanto, nos concentra em aprender com suas qualidades certamente é mais recompensador. Na busca constante pelo aperfeiçoamento como ser humano, cada um contribui e vem contribuindo. A estes, meu reconhecimento como forma de exaltação às suas principais qualidades.

A Deus certamente a única presença em todos os momentos.

Aos meus pais que contribuíram para minha formação humana e profissional, e estiveram sempre presentes em minha vida.

Ao meu orientador, o professor Márcio Paulo de Araújo Mafra, que não mediu esforços para me auxiliar da melhor maneira possível. O meu sincero agradecimento pela dedicação, orientação, paciência e conhecimentos compartilhados comigo.

A todos os meus colegas das turmas FEMAT, pela parceria e convívio durante os anos de curso. Ao Meu amigo Carlos Gurgel, pelo apoio e ajuda na obtenção das fibras. Ao Joao André pelas contribuições ao longo do trabalho.

Ao meu querido Jonas Varão, pelo apoio e suporte em todos os momentos.

A todos os professores da Faculdade de Engenharia de Materiais que contribuíram para minha formação profissional.

RESUMO

Os compósitos reforçados com fibras vegetais com matrizes poliméricas tem sido uma área atraente para pesquisadores e indústrias, onde atualmente se torna uma necessidade à agregação de valores aos resíduos gerados pela população, criando materiais alternativos eficientes e de baixo custo, aproveitando os próprios recursos naturais, e preservando o meio ambiente. As fibras a serem utilizadas no trabalho foram Algodão Brabo (*Cochlos permum*) e Estopeiro (*Vochysia paraensis*), as fibras passaram por um processo de cominuição e foram utilizadas como cargas na fabricação dos compósitos. O trabalho tem como objetivo desenvolver e caracterizar mecanicamente compósitos poliméricos reforçados com adições de cargas das fibras de Algodão Brabo e Estopeiro. No qual foram fabricados corpos de prova em molde de silicone de maneira aleatória, foram realizados estudo das propriedades mecânicas através de corpos de prova para o ensaio de tração, segundo a norma ASTM D638 e para o ensaio de impacto, segundo a norma ASTM D5942 e foram caracterizados por microscopia eletrônica de varredura (MEV) e EDS. Os compósitos foram fabricados através do teste de volume das cargas no molde de silicone, considerando o máximo de preenchimento do molde pelas cargas. Os compósitos obtidos passaram por uma cura de 7 dias em temperatura ambiente, e foram usinados para a realização dos ensaios mecânicos de tração e impacto. É possível afirmar que a heterogeneidade das cargas utilizadas nos compósitos afetou o comportamento mecânico em tração, por outro lado os resultados de impacto apresentaram valores satisfatórios.

PALAVRAS CHAVE: Compósito Polimérico; Algodão Brabo; Estopeiro; Fibras vegetais; Caracterização Mecânica.

ABSTRACT

Polymer matrix reinforced vegetable fiber composites have been an attractive area for researchers and industries, where it is more difficult to become a necessity for aggregating values to the waste generated by the population, creating efficient and low cost alternative materials, and preserving the environment. The fibers are for the work of Cotton Brabo (*Cochlos permum*) and Estopeiro (*Vochysia paraensis*), as fibers underwent a comminution process and as manufacturing factories of the composites. The objective of this work was to develop mechanically reinforced polymer composites with additions of Wool Brabo and Estopeiro fibers. In which samples were manufactured in silicone mold in a random manner, mechanical properties were studied through test specimens for tensile test according to ASTM D638 and for the impact test according to ASTM D5942 and were characterized by scanning electron microscopy (SEM) and EDS. The composites were manufactured by testing the volume of the loads in the silicone mold, considering the maximum filling of the mold by the loads. The composites obtained underwent a cure of 7 days at room temperature, and were machined for the mechanical tensile and impact tests. It is possible to affirm that the heterogeneity of the loads used in the composites affected the mechanical behavior in traction, on the other hand the results of impact presented satisfactory values.

KEY WORDS: Polymeric composite; Cotton Brabo; Wicker; Vegetable fibers; Mechanical Characterization.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Fluxograma dos tipos de compósitos.....	16
Figura 2- Algumas configurações de compósitos de matriz polimérica	17
Figura 3- Representação de uma fibra-celular, onde mostram as paredes celulares e suas divisões	21
Figura 4- Macromolécula de um poliéster curado.....	24
Figura 5 Árvore e características do fruto do Algodão Brabo (Cochlos permum).	25
Figura 6- Arvore Estopeiro.....	26
Figura 7- Catalisador MEK - D45 e Resina Poliéster Isoftálica.	31
Figura 8- Fluxograma da metodologia empregada para caracterização mecânica dos compósitos fabricados.	32
Figura 9- Obtenção das Fibras. a) Extração da Fibra da Casca; b) Fibras submersas em agua; c) Normalização das fibras; d) Fibras secas.	33
Figura 10 - Moinho de Facas utilizado para a cominuição das fibras	34
Figura 11- Equipamento para MEV de bancada da marca HITAGUI (modelo TM).	35
Figura 12- Equipamento para análise de Espectrografia de raios-x por dispersão de Energia (EDS).....	36
Figura 13- Moldes de Silicone para a fabricação dos compósitos, tração e impacto respectivamente.	37
Figura 14- a) Secagem das cargas na estufa; b) Estufa utilizada no procedimento	38
Figura 15- Secagem das cargas na estufa	38
Figura 16- Fabricação dos corpos de prova de tração e impacto respectivamente	39
Figura 17- Dimensões dos corpos de prova de tração segundo a norma ASTM D638M.	40
Figura 18- Máquina universal de ensaios EMIC, modelo DL - 10.000.	40
Figura 19- Dimensões dos corpos de prova de impacto em milímetros.	41
Figura 20- Máquina semiautomática de tenacidade ao impacto, modelo JB - 300B Charpy	41
Figura 21- Morfologia das cargas de (a) Algodão Brabo; (b) Estopeiro. Aumento de 80x ...	42
Figura 22- Morfologia das cargas de (a) Algodão Brabo; (b) Estopeiro. Aumento de 200x. .	43
Figura 23- - Espectro gerado pela análise do EDS para a Fibra de Algodão Brabo	44
Figura 24- - Espectro gerado pela análise do EDS para a Fibra de Algodão Brabo	45
Figura 25- Cargas obtidas através do processo de cominuição. a) Algodão Brabo; b) Estopeiro	45
Figura 26- Curva de secagem do Algodão Brabo	47

Figura 27- Curva de secagem Estopeiro.....	47
Figura 28- Corpos de prova de tração obtidos pelo processo de fabricação	48
Figura 29- Corpos de prova de impacto charpy obtidos pelo processo de fabricação a) Algodão Brabo; b) Estopeiro.....	48
Figura 30- Gráfico de Barras para comparação entre as tensões das cargas utilizadas.....	49
Figura 31- Comportamento em ensaio de tração dos compósitos com cargas de Resina Pura, Algodão Brabo e Estopeiro.....	50
Figura 32- Comportamento do ensaio de tenacidade ao impacto charpy.....	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Constituição básica de algumas fibras vegetais.....	20
Tabela 2- Comparação das propriedades entre termoplásticos e termorrígidos	22
Tabela 3- Percentuais de cada elemento da análise para as cargas de Algodão Brabo e Estopeiro	43
Tabela 4- Fração Mássica dos corpos de prova de tração fabricados.....	46
Tabela 5- Fração Mássica dos corpos de prova de impacto fabricados.....	46
Tabela 6- Resultados obtidos no ensaio de tração para os compósitos com desvio padrão.	49
Tabela 7- Resultados do ensaio de Tenacidade ao impacto para os compósitos estudados.	51

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 OBJETIVOS	14
2.1 OBJETIVOS GERAIS	14
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
3.1 MATERIAIS COMPÓSITOS	15
3.2 PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DOS COMPÓSITOS.....	17
3.2.1 Materiais Compósitos com Reforço de Partículas.....	18
3.2.2. Materiais Compósitos com Reforço de Fibras Vegetais.....	19
3.3 MATRIZ POLIMÉRICA	21
3.3.1 Resina poliéster	23
3.4. FIBRAS NATURAIS	25
3.4.1 Fibra de Algodão Brabo.....	25
3.4.2 Fibra de Estopeiro	26
3.5 FABRICAÇÃO DE MATERIAIS COMPÓSITOS	27
3.6 NORMAS DE ENSAIO DE TRAÇÃO E IMPACTO DE MATERIAIS COMPÓSITOS.....	28
3.6.1 Norma ASTM D638.....	28
3.6.2 ASTM D5942.....	28
3.7 PROCESSOS DE COMINUIÇÃO	29
4. MATERIAIS E MÉTODOS	31
4.1. MATERIAIS	31
4.1.1 Matriz Polimérica	31
4.1.2 Fibras vegetais de Estopeiro e Algodão Brabo	31
4.2 METODOLOGIA EXPERIMENTAL.....	32
4.2.1 Extração de Fibras Vegetais de Estopeiro e Algodão Brabo	33

4.2.2	Cominuição das Fibras Vegetais de Estopeiro e Algodão brabo.....	34
4.2.3	Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e Espectroscopia de Difração de raios-x por Dispersão de Energia (EDS) das cargas obtidas	35
4.2.4	Fabricação dos Corpos de Prova com Fibras de Estopeiro e Algodão Brabo	36
4.2.5	Ensaio de Tração dos Materiais Compósitos com Fibras de Estopeiro e Algodão Brabo	39
4.2.6	Ensaio de tenacidade ao impacto Charpy dos Materiais Compósitos com Fibras Vegetais de Algodão Bravo e Estopeiro.....	41
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	42
5. 1	MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV) E ESPECTROGRAFIA DE RAIOS-X POR DISPERSÃO DE ENERGIA (EDS) DAS CARGAS OBTIDAS.....	42
5.2	COMINUIÇÃO DAS FIBRAS VEGETAIS DE MUTAMBA, PENTE DE MACACO E PINDAIBA	45
5.3	FABRICAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA COM FIBRAS VEGETAIS DE ALGODÃO BRABO E ESTOPEIRO	46
5.4	ENSAIO DE TRAÇÃO DOS MATERIAIS COMPÓSITOS COM FIBRAS VEGETAIS DE ALGODÃO BRABO E ESTOPEIRO	48
5.5	ENSAIO DE IMPACTO DOS MATERIAIS COMPÓSITOS COM FIBRAS VEGETAIS DE MUTAMBA, PENTE DE MACACO E PINDAÍBA	51
6	CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	53
6.1	CONCLUSÕES	53
6.2	SUGESTÕES PARA TRABALHOS	54
	REFERÊNCIA.....	55

1 INTRODUÇÃO

Os compósitos reforçados com fibras vegetais com matrizes poliméricas tem sido uma área atraente para pesquisadores e indústrias, onde atualmente se torna uma necessidade à agregação de valores aos resíduos gerados pela população, criando materiais alternativos eficientes e de baixo custo, aproveitando os próprios recursos naturais, e preservando o meio ambiente (SILVA, 2010).

E por elas serem provenientes de recursos renováveis, está disponível em grandes quantidades, contribuindo ainda mais para o interesse no estudo desses materiais. No entanto, existem algumas desvantagens que são encontradas na utilização de fibras naturais em compósitos, tais como elevada absorção de umidade, baixa temperatura de decomposição e uma fraca adesão entre a fibra e a matriz polimérica. Ainda que tenham essas desvantagens, as mesmas vêm sendo largamente utilizadas, principalmente devido à possibilidade de se contornar esses problemas.

Segundo Nóbrega (2007), o uso de fibras vegetais como reforço em compósitos poliméricos, com o objetivo de substituir total ou parcialmente as fibras sintéticas, tem recebido muita atenção dos pesquisadores. Isto porque as fibras vegetais apresentam importantes vantagens como: baixo custo, baixa densidade, resistência, baixa abrasividade aos equipamentos de processo, são biodegradáveis, não são tóxicas ou poluentes diminuindo assim problemas ambientais, além de serem originárias de fontes renováveis e serem disponíveis em todo o mundo.

Diversos fatores podem influenciar nas propriedades físico-mecânicas de compósitos reforçados por fibras vegetais, entre eles: o tipo de matriz e fibra, a fração volumétrica das fases, o comprimento, a orientação e o tratamento da fibra, o tratamento da fase polimérica, o processo de fabricação, entre outros. Para os compósitos com adição de fase particulada, fatores como a natureza, o tamanho, a geometria e a fração mássica das partículas afetam significativamente suas propriedades (SILVA, 2010).

As fibras vegetais apresentam algumas dificuldades para serem utilizadas como cargas para materiais poliméricos, dentre elas podem-se citar: a temperatura de degradação e elevada higroscopicidade. A temperatura de degradação das fibras vegetais é relativamente baixa, em torno de 200 °C. Nesta temperatura pode ocorrer tanto a degradação propriamente dita, quanto a liberação de voláteis, diminuindo as propriedades mecânicas dos compósitos. Sendo assim, seu uso fica limitado a materiais plásticos com baixa temperatura de

processamento, como por exemplo: polietileno, polipropileno, policloreto de vinila e poliestireno (GUIMARÃES FILHO, 2011).

Portanto, a inserção de fase particulada em compósitos poliméricos de fibras vegetais, aliada à avaliação e caracterização das propriedades mecânicas, pode representar um avanço na investigação e emprego dos compósitos naturais. A proposta do trabalho é produzir corpos de provas de compósitos reforçados com partículas de fibras vegetais cominuídas e avaliar seu comportamento mecânico a partir de ensaios de tração e impacto. As fibras utilizadas foram: Algodão brabo que é presente na região norte e em abundância no México, de onde é possível a retirada da fibra de seu caule; Estopeiro, árvore bastante abundante em todo Brasil e possui boa qualidade em sua fibra extraída do caule.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVOS GERAIS

Este trabalho teve como objetivo avaliar o comportamento mecânico em ensaio de tração e de impacto de compósitos poliméricos reforçados com fibras vegetais cominuidas de Algodão brabo e Estopeiro

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Avaliar a técnica de fabricação por moldagem manual sem pressão à temperatura ambiente, de corpos de prova segundo a norma ASTM D638M para tração e norma ASTM D5942 para o ensaio de tenacidade ao impacto charpy.
- ✓ Avaliar a morfologia das fibras cominuidas a partir da Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e Análise Química por meio do (EDS);
- ✓ Estudar as propriedades mecânicas dos compósitos confeccionados a partir dos ensaios de tração e de impacto e estudar a relação dessas propriedades com a morfologia das fibras cominuidas;
- ✓ Correlacionar as propriedades mecânicas das fibras cominuidas em relação ao que é encontrado na literatura.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Esta seção consta da etapa da pesquisa bibliográfica a qual se refere ao tema em destaque nesse trabalho de investigação que é o uso de fibras como reforço nos materiais compósitos poliméricos

3.1 MATERIAIS COMPÓSITOS

Os compósitos compreendem uma classe de materiais que a cada dia ganha mais importância tecnológica sua preparação visa imprimir melhores propriedades aos materiais. Quando um material é preparado usando materiais de natureza distinta é denominado compósito. Uma prancha de surfe é um exemplo típico de um compósito onde fibras de vidro são embebidas em um polímero. O concreto que apresenta uma boa resistência à compressão e baixa resistência à tração pode formar um compósito com o aço, que tem boa resistência à tração (BLEDZKI et al, 2001).

Podemos definir material compósito como sendo uma combinação macroscópica de dois ou mais materiais de fases distintas, e que apresentam interface entre eles. Para este trabalho, numa definição mais focada, pode-se dizer que compósitos são materiais que contém fase contínua, chamada matriz e que é representada pelo polímero, e a fase dispersa, representada pelas fibras (algodão brabo e estopeiro por exemplo). Normalmente a fase dispersa é mais dura e mais resistente que a matriz, e isso alteram as propriedades do polímero (RABELLO, 2000).

As propriedades dos compósitos são controladas, principalmente, pelas propriedades de seus materiais constituintes, teor de reforço, grau de dispersão, geometria do reforço, razão de aspecto (relação comprimento/diâmetro) e orientação das fibras. Estas propriedades controlam a homogeneidade do produto. As características de anisotropia de um compósito são influenciadas enormemente pela orientação do reforço. Compósitos longitudinalmente orientados são anisotrópicos por natureza e o máximo na resistência é obtido quando o material é testado na direção do alinhamento das fibras. Na direção transversal ao alinhamento das fibras, o reforço é virtualmente inexistente e, portanto, o material já falha em tensões muito baixas.

Em relação ao reforço, os compósitos podem ser classificados em compósitos laminados (reforçados por fibras) e compósitos particulados (reforçados por partículas). As partículas podem ser materiais metálicos, poliméricos ou cerâmicos, podendo ser sintéticos ou naturais. Algumas propostas foram feitas para a classificação dos compósitos, visto que ainda não há uma classificação universal, oficial, para os materiais compósitos, como é apresentado

na figura 1. Estes materiais podem ser agrupados de acordo com a forma, processo, tipo de matriz, tipo de reforço, entre outros critérios. Classificações quanto à natureza da fase dispersa e da matriz, no entanto, são as mais encontradas na literatura (JUNIOR, 2013).

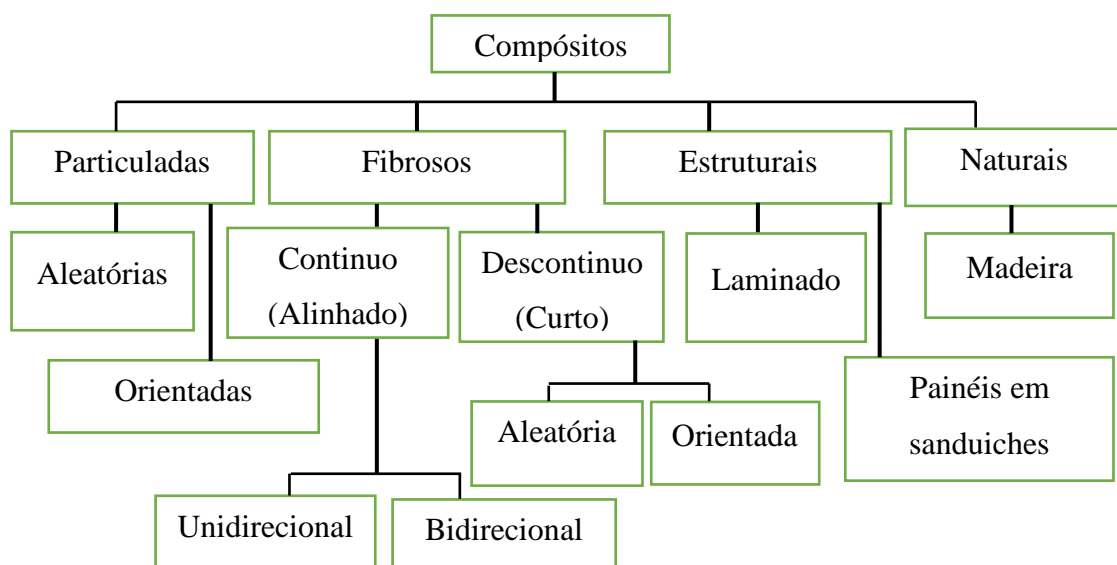
Tais componentes devem ter resistência, rigidez e maleabilidade que geralmente se encontram nas fibras. O seu papel é suportar cargas máximas e impedir que as deformações ultrapassem seus limites aceitáveis.

O aumento do teor do reforço é um fator que pode promover um aumento nas propriedades mecânicas, embora um alto carregamento de reforço possa favorecer a aglomeração de fibras e a baixa dispersão destas na matriz. A fração volume máxima é de aproximadamente 80% além disso, as fibras não podem mais ser completamente envoltas pela matriz (NETO, 2010).

A adesão inadequada entre as fases envolvidas na interface poderá provocar o início de falhas, comprometendo o desempenho do compósito. Portanto, além das propriedades individuais de cada componente do compósito, a interface deve ser a mais adequada possível para otimizar a combinação das propriedades envolvidas (SHACKELFORD, 2005)

Quando associados a matrizes resinosas, apresentam resistência mecânica satisfatória. O componente matricial, geralmente é um polímero termoplástico ou termorrígido (termofixo). A matriz tem a função de manter a orientação das fibras e seu espaçamento, transmitindo as forças de cisalhamento entre as fibras e proteger as mesmas de danos superficiais (MANO, 1991).

Figura 1- Fluxograma dos tipos de compósitos

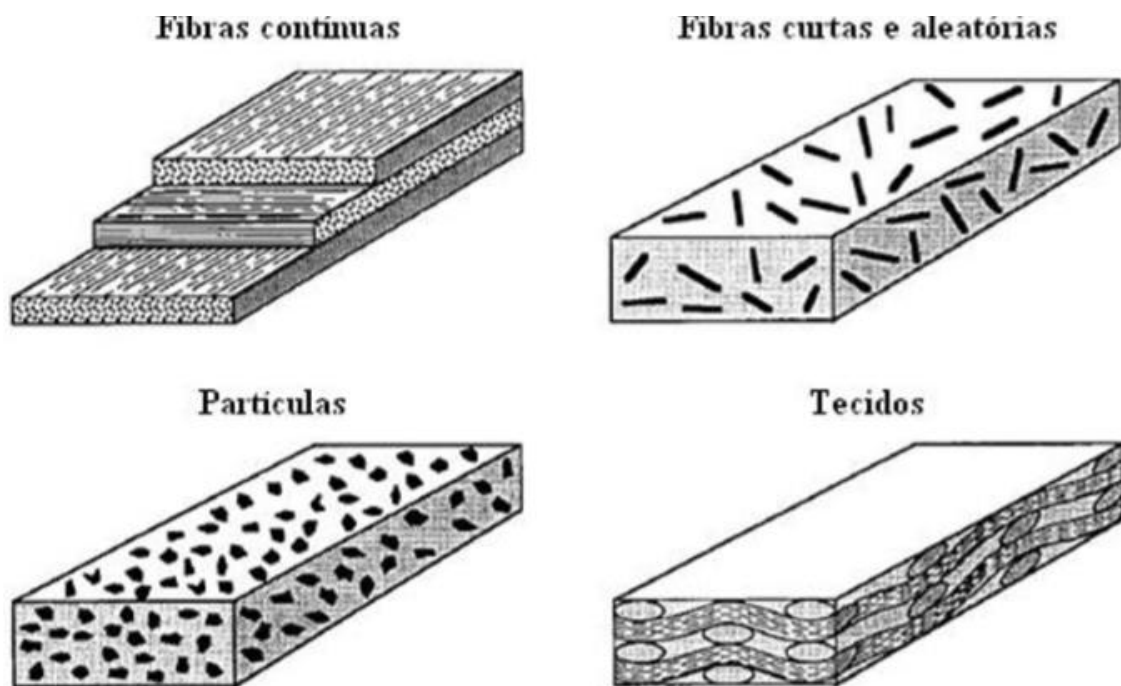


Fonte: Autor (2018).

As propriedades dos compósitos são controladas, principalmente, pelas propriedades de seus materiais constituintes, teor de reforço, grau de dispersão, geometria do reforço, razão de aspecto (relação comprimento/diâmetro) e orientação das fibras. Estas propriedades controlam a homogeneidade do produto (SHACKELFORD, 2005).

Um compósito focado em resistência mecânica pode ser definido como a combinação de duas ou mais fases macroscopicamente distintas, as quais atuarão como reforço ou matriz, como pode ser observado na Figura 2.

Figura 2- Algumas configurações de compósitos de matriz polimérica



Fonte: ABDEN, M. J. (2014).

A matriz pode ser um material metálico, cerâmico ou polimérico. Dessa forma, os materiais são denominados de compósitos de matriz metálica (CMM); compósitos de matriz cerâmica (CMC); e compósitos de matriz polimérica (CMP); respectivamente. Em geral, devido à sua ductilidade e fácil moldagem, os metais e os polímeros são mais usados que os materiais cerâmicos como matriz para compósitos. De acordo com esse critério, compósitos poliméricos são, também, mais comuns que metálicos (PANZERA, 2003).

3.2 PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DOS COMPÓSITOS.

Segundo Silva (2014), os compósitos têm como principais características:

- Resistência Mecânica - Apresentam excelente resistência mecânica devido as suas características e a variedade de combinações que podem ser realizadas entre as resinas e os materiais de reforço.

- Resistência às Intempéries - Apresentam grande resistência aos efeitos do vento, da umidade, do sol e das oscilações térmicas. Além disso, quando características não usuais são requeridas, aditivos como protetores de UV, agentes anti-dust, resinas especiais são amplamente utilizáveis.

- Resistência Química - Apresentam excepcional inércia química permitindo sua utilização em ambientes agressivos quimicamente. Além disso, inúmeros aditivos especiais e resinas específicas estão a disposição no mercado para solucionar aplicações que requeiram propriedades além das usuais.

- Leveza – Devido ao peso específico das resinas e das fibras de reforço, os produtos fabricados a partir dos compósitos poliméricos apresentam um baixo peso específico, o que faz com que sejam amplamente utilizados nas indústrias aeronáutica, naval e automobilística.

- Durabilidade - Apresentam alta durabilidade em consequência de sua composição e ao crosslinking polimérico formado durante o processo de moldagem.

- Facilidade na Manutenção - Apresentam fáceis e simples técnicas de reparo e manutenção.

- Flexibilidade Arquitetônica - Os compósitos têm uma grande vantagem sobre outros materiais estruturais, pois moldes com formas complexas são facilmente adaptáveis aos processos em utilização.

3.2.1 Materiais Compósitos com Reforço de Partículas

Os compósitos particulados resultam da introdução de componentes que apresentem uma razão de aspecto L/D (relação entre a maior e a menor dimensão do corpo) menor que três. Esses componentes denominados de cargas particuladas ou não fibrosas podem ser definidos como materiais sólidos que são adicionados aos polímeros em quantidades suficientes para reduzir o custo do compósito e/ou alterar as suas propriedades físicas e/ou mecânicas (CARVALHO et al.2007).

A incorporação de fibras em uma matriz polimérica pode ocorrer de duas maneiras distintas: (a) uma ou mais fases que tenham a finalidade de reforçar, provocando um aumento na rigidez e resistência mecânica ou (b) o material incorporado tem a atuação mais acentuada como carga; neste caso o reforço adicionado à matriz, normalmente de baixa massa específica

e custo reduzido, atua como uma carga aumentando o volume do compósito, e proporcionando reduções de peso e custo do componente (NETO e PARDINI, 2006).

Compósitos particulados: Formados de partículas utilizadas como reforço em uma matriz de outro material. E por sua vez são divididas em duas categorias segundo (CALLISTER, 2007).

✓ Compósitos de partículas grandes (macroscópicas), onde a interação partícula-matriz não pode ser tratada a nível atômico ou molecular, mas somente na base da mecânica do contínuo. Para a maioria desses compósitos a fase particulada é mais rígida que a matriz e as partículas tendem a restringir o movimento da mesma na vizinhança de cada partícula. Em essência, a matriz transfere parte da tensão aplicada para as partículas, que assim sendo sustentam uma fração da carga. O grau de reforço ou melhoramento do comportamento mecânico acarretado

pela presença das partículas depende da existência de forte ligação na interface partícula-matriz.

✓ Compósitos de partículas pequenas (microscópicas), onde a sua presença desempenha o papel de dificultar o movimento de discordâncias, fazendo com que a deformação plástica na matriz seja restringida de modo que haja aumento nos limites de escoamento e de resistência mecânica.

A resistência do material compósito é mais eficiente incrementada utilizando materiais de reforço na forma de fibras ao invés de partículas. De modo geral, as partículas no material compósito aumentam a rigidez do mesmo, porém, não contribuem consideravelmente para o aumento da sua resistência. No entanto, quando outras propriedades de aplicação do componente de Engenharia, além da resistência mecânica e da rigidez, são importantes, os componentes particulados podem ser utilizados de forma eficiente na otimização das mesmas. Materiais particulados são utilizados para modificar propriedades térmicas, elétricas, características da usinagem, dureza superficial, propriedades de atrito e desgaste (CASARIL, 2009).

3.2.2. Materiais Compósitos com Reforço de Fibras Vegetais

Fibras retiradas do caule, das folhas, dos frutos e das sementes das plantas, são consideradas fibras vegetais. As fibras vegetais são chamadas de lignocelulósicas por terem constituição básica de celulose, hemicelulose, lignina além de quantidades de pectina, sais inorgânicos, substâncias nitrogenadas, corantes naturais, que são incluídos no que se denomina de fração de solúveis. Estudos mostram que as condições climáticas, idade e o processo de

nutrição digestiva influenciam não só a estrutura da fibra vegetal, mas também a sua composição química (BENINI, 2013).

A celulose ($C_6H_{10}O_5$)_n é um polímero de cadeia longa composto de um só monômero (β -D-glicose), cujas cadeias se ligam entre si através dos carbonos 1 e 4, dando origem a um polímero de cadeia linear. Classificado como polissacarídeo ou carboidrato, a celulose é o componente essencial de todas as plantas. Como polímero natural a celulose existente em grande abundância, possui fortes ligações de hidrogênio sendo altamente hidrofílica (BLEZKI E GASSAN, 1999). Como mostra a tabela 1.

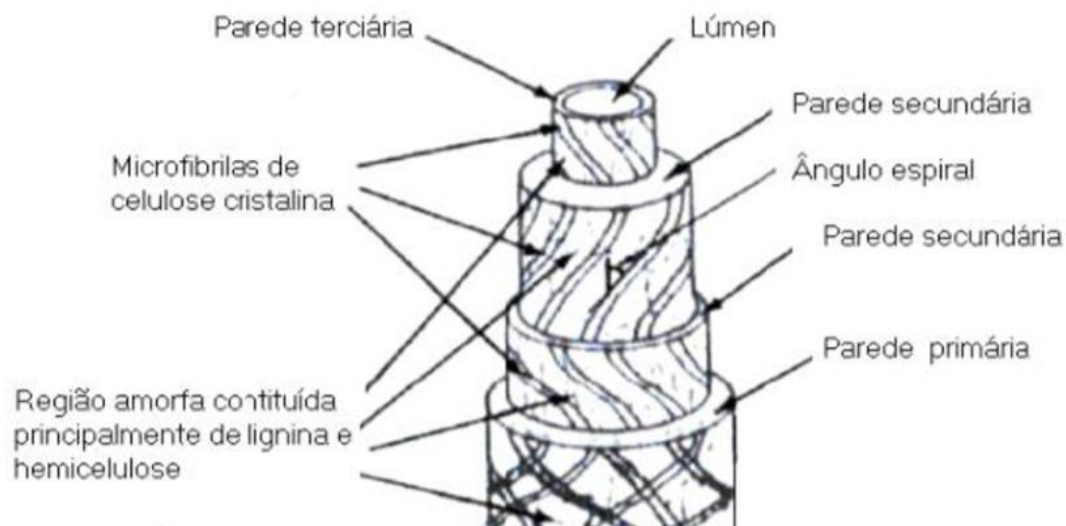
Tabela 1- Constituição básica de algumas fibras vegetais.

Fibra	Celulose (%)	Hemicelulose (%)	Lignina (%)
Algodão	82,7	5,7	--
Juta	64,4	12,0	11,8
Linho	64,1	16,7	2,0
Sisal	65,8	12,0	9,9
Rami	68,6	13,1	0,6
Coco	36-43	0,15-0,25	20-45

Fonte: BLEZKI E GASSAN, (1999).

As fibras vegetais são constituídas de microfibrilas compostas de cadeias de celulose unidas por hemiceluloses que formam uma parede celular ao redor do lúmen. Essas paredes recebem denominações sucessivas da parte externa para interna: primária, secundária, e assim por diante. As paredes são constituídas de camadas formadas por feixes de microfibrilas que crescem no vegetal em forma de espiral, com diferentes orientações angulares. A Figura.3 mostra a representação de uma fibra-celular, a qual pode conter regiões de seção transversal circular, oval ou achatada. (OLIVEIRA, 2013).

Figura 3- Representação de uma fibra-celular, onde mostram as paredes celulares e suas divisões



Fonte: BLEDZKI e GASSAN, (1999)

Atualmente, a necessidade de desenvolver e comercializar materiais compósitos reforçados com fibras naturais tem crescido, devido a questões relacionadas ao desenvolvimento sustentável. Outra razão é a vasta possibilidade de modelagem e a obtenção de peças de design com respaldo ambiental (SILVA et al.;2004).

As propriedades mecânicas destes compósitos dependem de alguns fatores, tais como fração volumétrica, razão de aspecto, distribuição e orientação das fibras, adesão matriz-fibra e composição química da matriz polimérica e das fibras. As resinas termorrígidas mais utilizadas nestes compósitos são as fenólicas, poliésteres, epóxi e poliamidas. Dentre as resinas termoplásticas, o destaque é para o polietileno de baixa densidade e o polipropileno (GUIMARÃES FILHO, 2011).

3.3 MATRIZ POLIMÉRICA

A matriz nos materiais compósitos, além de dar a forma ao produto final, tem por finalidade básica atuar como um meio de transferência de carga para os reforços, através da área de contato entre a fibra e a matriz, e proteger o reforço da abrasão mútua, danos e meios de degradação (CORREIA, 1988). Os polímeros são constituídos de macromoléculas orgânicas, sintéticas ou naturais. Os plásticos e borrachas são exemplos de polímeros sintéticos, enquanto o couro, a seda, o chifre, o algodão, a lã, a madeira e a borracha natural são constituídos de macromoléculas orgânicas naturais (PADILHA, 2000).

As matrizes poliméricas podem ser de termoplásticos ou termorrígidos. A principal diferença entre estes dois tipos está no comportamento característico quando aquecidos, isto é, os termoplásticos são polímeros capazes de serem moldadas várias vezes devido às suas características de se tornarem fluidos sob ação da temperatura e depois se solidificarem quando a temperatura diminui. Já os termorrígidos não tem o comportamento de fluidos devido à presença de ligações cruzadas entre as cadeias macromoleculares. Na tabela 2 estão as principais características de polímeros termoplásticos e termorrígidos (SILVA, 2014).

Tabela 2- Comparação das propriedades entre termoplásticos e termorrígidos

Termoplásticos	Termorrígidos
Reciclável mecanicamente	Não reciclável mecanicamente
Tempo limitado de Armazenamento	Tempo limitado de armazenamento
Alta viscosidade quando fundido	Baixa viscosidade durante o processamento
Temperatura de uso limitado a t_g e t_m . baixa	Alta resistência à fluência
Estabilidade térmica e dimensional	Alta resistência térmica e dimensional

Fonte: SILVA, (2014)

Os termoplásticos são formados a partir de macromoléculas individuais lineares sem qualquer reticulação entre si. Estas moléculas de grandes dimensões são mantidas nas suas posições à custa de ligações secundárias (forças intermoleculares), tais como forças de van der Waals e ligações de hidrogénio. Quando se aquecem os polímeros termoplásticos, estas ligações são temporariamente quebradas e passa a existir mobilidade molecular que permite a reconformação. Com o arrefecimento posterior, as moléculas fixam se nas posições, entretanto alcançadas, restabelecendo-se as ligações químicas acima referidas. Em geral, os termoplásticos salientam-se por apresentarem maior resistência ao impacto, maior tenacidade e bastante menor nível de higroscopia quando comparados com os polímeros termoendurecíveis. Estes podem ser reciclados, o que constitui um ponto importante nos dias de hoje (MARCELO, 2011).

As matrizes termoendurecíveis são constituídas por polímeros em que as moléculas formam estruturas tridimensionais bastante rígidas. Os termoendurecíveis, ao contrário dos termoplásticos, não podem ser reprocessados. Uma vez aquecidos assumem uma forma

permanente. Quando os componentes (resina e acelerador e/ou catalisador) são misturados na proporção adequada, dá-se a polimerização e a constituição da estrutura tridimensional, num processo que se designa habitualmente por “cura”. Uma das principais vantagens das resinas termoendurecíveis é a maior facilidade de impregnação do reforço, dado que, antes da cura, apresentam viscosidades bastante inferiores às dos termoplásticos (MARCELO, 2011).

Nos compósitos reforçados por fibras, tanto sintéticas quanto vegetais, vários tipos de polímeros têm sido utilizados como matrizes sejam eles termoplásticos ou termorrígidos. Quanto aos compósitos reforçados por fibras vegetais, os mais comumente empregados são polímeros termorrígidos (poliéster, epóxi e fenólico), devido à capacidade da polimerização poder ser realizada a baixas temperaturas, reduzindo o risco de deterioração das fibras. Ainda assim, termoplásticos (polietileno, poliestireno, polipropileno, etc.) são também utilizados como matrizes em compósitos, devido à maior tenacidade à fratura, maior resistência ao impacto, maior tolerância a danos em relação aos termorrígidos, além da capacidade de reciclagem desses materiais. O efeito de reforçamento das fibras, em geral, pode variar bastante devido a diferentes afinidades com as matrizes acompanhada das diferenças em suas estruturas químicas (NETO e PARDINI, 2006).

3.3.1 Resina poliéster

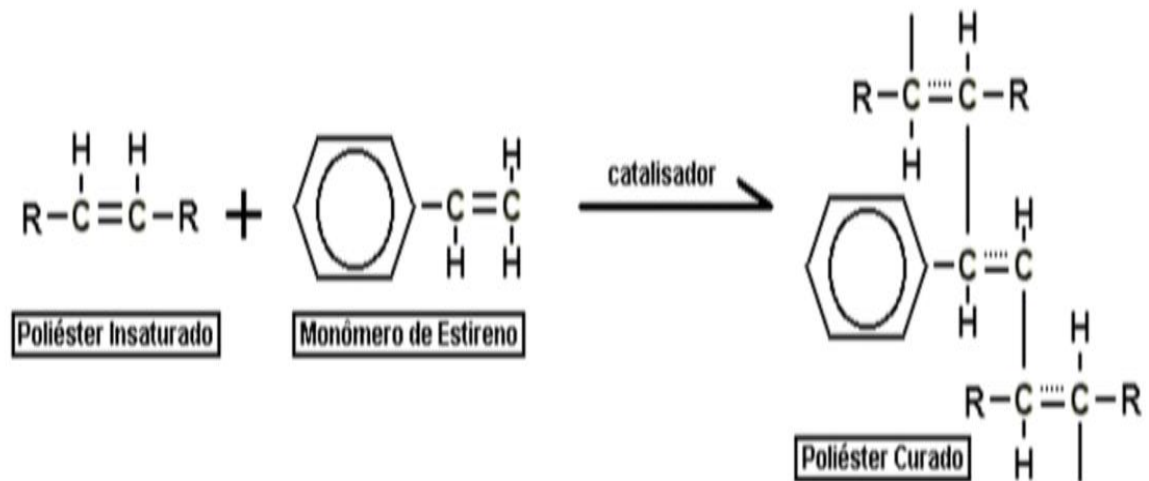
Resinas poliésteres constituem uma família de polímeros de alto peso molecular, resultantes da condensação de ácidos carboxílicos com glicóis, classificando-se como resinas saturadas ou insaturadas, dependendo especificamente dos tipos de ácidos utilizados, que irão caracterizar o tipo de ligação entre os átomos de carbono da cadeia molecular. A palavra poliéster tem o significado: poli, de muitos, e éster que é uma função química. Um éster é obtido através da reação de um ácido carboxílico com um álcool, tendo como produtos da reação um éster e água (RODRIGUES, 1996).

A insaturação do poliéster é produzida utilizando reagentes que contêm insaturações. A denominação insaturada é proveniente da presença de duplas ligações presentes na sua cadeia molecular. A insaturação do poliéster é fornecida, geralmente, pelo ácido ou anidrido maleíco, assim como, pelo seu isômero ácido fumárico (SILAEX, 2013).

Os poliésteres insaturados são obtidos a partir de diácidos insaturados, um diácido saturado e um diol, resultando num pré-polímero, cuja cadeia molecular é composta por ligações simples e duplas entre os átomos de carbono. O pré-polímero é diluído num monômero vinílico inibido para facilitar sua estocagem e posterior utilização. Inicialmente o sistema encontra-se no estado líquido e após a adição de um agente de cura, as ligações duplas no pré-

polímero são ativadas e o monômero vinílicos polimeriza formando “pontes” entre as cadeias do pré-polímero se solidificam formando uma estrutura termofixa irreversível, reticulada e infusível (NÓBREGA, 2007). Como mostra o esquema de polimerização na figura 4, do poliéster.

Figura 4- Macromolécula de um poliéster curado



Fonte:(SILAEX, 2013)

No início da reação, é necessário que as duplas ligações (insaturações) sejam rompidas para que as interligações ocorram. Esse problema pode ser resolvido pelo aquecimento da resina, pela aplicação de radiações eletromagnéticas, ou pela adição dos catalisadores e aceleradores de reação. Os radicais livres do catalisador atacam as insaturações no poliéster ou no estireno, para iniciar a reação de polimerização em cadeia, a qual dá origem a um copolímero estireno-poliéster, formando assim uma rede tridimensional termorrígida (LEVY NETO; PARDINI, 2006).

Para que as resinas tenham boas propriedades mecânicas é necessário que em suas composições também seja empregados biácidos saturados, pois, somente o uso de biácidos insaturados na fabricação de resinas de poliéster deixam os espaçamentos entre as suas duplas ligações curtas o que resulta um material frágil.

De acordo com Rodrigues (1996), quanto maior a quantidade e quanto maior a proporção de ácido saturado, mais tenaz será a resina de poliéster depois de polimerizada, e menor encolhimento na cura será observado.

As resinas de poliéster são fornecidas ao moldador na forma de um líquido viscoso e se transforma em um sólido infusível por meio de uma reação de reticulação ou cura. Entretanto, essa cura se processaria muito lentamente, porque as moléculas constituem a resina de poliéster

têm pequena mobilidade. De forma a agilizar a cura pode-se usar aquecimento da resina ou mesmo a adição de um catalisador (NETO e PARDINI, 2006).

3.4. FIBRAS NATURAIS

3.4.1 Fibra de Algodão Brabo

Cochlos permum é o nome científico do Algodão brabo e está presente em todas as regiões do Brasil, além de Bolívia e Paraguai. Ocorre em formações abertas, principalmente no Cerrado. Pode apresentar comportamento ruderal, e são árvores, que atingem um tamanho de 3-15 m de altura, mostrado na figura abaixo. (LLERAS, E. 2015).

Figura 5 Árvore e características do fruto do Algodão Brabo (*Cochlos permum*).



Fonte : Autor,(2018)

Segundo características observadas às fibras desta árvore são utilizadas por pessoas da zona rural, que ao construírem casas de barro, utilizam as fibras do pente-de-macaco para fazerem a armação das casas para depois preencherem com barro. A fibra faz com que a armação seja bastante firme conferido boa resistência mecânica e sendo utilizado de maneira frequente por pessoas que moram em vilas e povoados, principalmente no interior de pequenas cidades.

3.4.2 Fibra de Estopeiro

É uma fibra extraída da madeira do Estopeiro da família *Lecythidaceae*, com nome científico de *Vochysia paraensis* conhecida também como estopeiro, toari; imbirema, e tauari-amarelo. Ocorre nas matas de terra firme, principalmente nos seguintes Estados: Amazonas, Roraima, Amapá e Pará. Sua madeira tem grande aceitação no mercado interno e no exterior. Quando floresce, perde todas as folhas. A altura comercial varia de 9 a 16 m, com diâmetros entre 50 e 75 cm, tronco reto e cilíndrico, com casca lisa e levemente fissurada como mostra a figura 6. A madeira de tauari é moderadamente macia ao corte, apresentando um bom acabamento, apesar de a superfície ficar às vezes com aparência felpuda. Algumas espécies possuem sílica, o que contribui para desgastar a afiação das ferramentas. É usada para a fabricação de painéis compensados, embalagens, peças encurvadas e torneadas, móveis de uso geral e partes interiores na construção civil (caixilhos, esquadrias, forros, rodapés, lambris e similares). É usada ainda na fabricação de artigos de esporte e brinquedos, lápis, palitos de fósforos, bobinas e carretéis (PORTAL REMADE, 2005).

Atualmente a fibra de Estopeiro é utilizada somente na manufatura de utensílios para uso domésticos e no trabalho rural, mais ainda não foram realizados estudos científicos sobre a mesma, muito menos o uso na indústria em geral.

Figura 6- Arvore Estopeiro



Fonte: Madeireira Guimarães (2006).

3.5 FABRICAÇÃO DE MATERIAIS COMPÓSITOS

No processamento de compósitos (moldagem), diferentemente dos materiais metálicos e cerâmicos, a manufatura do material em si ocorre ao mesmo tempo em que o componente é submetido à moldagem. O estabelecimento do processo adequado para cada moldagem é determinado basicamente pelo tipo de matéria prima, tipo de reforço e matriz, e pelo tipo de geometria do componente a ser obtido. Os processos de fabricação podem ser manuais e/ou automatizados e a moldagem pode ser efetuada em molde aberto ou molde fechado. Os moldes abertos podem ser do tipo macho ou fêmea e os fechados incorporam, simultaneamente, as características dos moldes tipos macho e fêmea (NETO e PARDINI, 2006).

De acordo com Levy Neto e Pardini (2006) os processos de fabricação correspondem 50 – 60% do custo total de um compósito. Este fato torna o assunto de fundamental importância para a comunidade industrial e científica, visando à redução dessa parcela no custo total do material.

Os processos em molde aberto são conhecidos por serem de baixa tecnologia e de menor custo, são eles:

-Laminação manual ou hand lay-up se caracteriza por ser um método simples de confecção de um compósito, não envolvendo nenhum investimento em equipamentos. A laminação consiste em sobrepor camadas de tecidos, mantas ou fibras, intercalando-as com uma resina (PARDINI e NETO, 2006).

Laminação à pistola (Spray Up) utiliza fios cortados e resina que são projetados simultaneamente em um molde preparado e um rolo é passado para melhorar o processo de impregnação (diminuindo a presença de bolhas) antes que a resina endureça.

Centrifugação consiste nas misturas de fibras e resina que são introduzidas em um molde rotatório e curadas "in situ".

Enrolamento (Filament Winding) é o processo onde a modelagem é feita através de enrolamento das fibras contínuas (roving) sobre molde rotatório. Também podem ser utilizadas mantas ou tecidos intercalados as etapas de enrolamento do roving. Este processo é bastante utilizado na fabricação de peças cilíndricas e tubulações (COSTA, 2012).

3.6 NORMAS DE ENSAIO DE TRAÇÃO E IMPACTO DE MATERIAIS COMPÓSITOS

3.6.1 Norma ASTM D638

Este método de ensaio abrange a determinação das Propriedades em tração de polímeros com ou sem reforço sob a forma de corpos de prova para teste padrão em forma de halteres ou gravata, quando testado em condições estabelecidas de pré-tratamento, temperatura, umidade e velocidade da máquina de testes. Este método de teste pode ser usado para materiais de teste de espessuras de até 14 mm (0,55 pol.). Os dados de teste obtidos por este método de ensaio são de grande relevância para o uso no projeto de engenharia. Os valores são expressos em unidades do SI que são considerados como valores padrão (ASTM, 1989).

O método aplicado para o teste é projetado para analisar propriedades de tração dados para o controle e especificação de materiais plásticos. Estes dados também são úteis para a caracterização qualitativa e para pesquisa e desenvolvimento. Para muitos materiais, pode ser uma especificação que requer o uso do presente método de ensaio, mas com algumas modificações processuais que têm precedência quando aderindo à especificação (ASTM, 1989).

As propriedades de tensão podem variar de acordo com a preparação de amostras e com velocidade e ambiente de testes. Conseqüentemente, onde os resultados comparativos precisos são desejados, esses fatores devem ser cuidadosamente controlados (ASTM, 1989).

3.6.2 ASTM D5942

A norma ASTM D5942 faz referência aos métodos padrões para a resistência a tenacidade Charpy em polímeros. O teste consiste em posicionar um corpo de prova em uma máquina que possui um pêndulo com uma espécie de “martelo” em sua extremidade externa, enquanto na extremidade interna é fixo em um eixo. Este pêndulo é solto de uma altura determinada, gira em torno do eixo da máquina e atinge o corpo de prova que está preso em uma pequena morsa (garras). No caso de equipamentos analógicos, existem dois ponteiros: O primeiro acompanha o movimento do pêndulo enquanto o segundo ponteiro é empurrado pelo primeiro. Quando o corpo de prova é atingido, o segundo ponteiro aponta para um valor que deverá ser usado para calcular o resultado final do teste.

A resistência ao impacto de corpos de prova mantidos por dias ao ar livre pode ser um pouco diferente daqueles corpos de prova testados logo após a fabricação. A norma também indica pequenos detalhes que ocorrem durante o teste, mas que podem criar divergências no resultado final, como por exemplo, a vibração do pêndulo que pode reduzir a energia de impacto

caso o pêndulo não esteja posicionado ou a base da máquina não seja pesada o suficiente para evitar o balanço.

Devido à ocorrência das falhas no corpo de prova, pode ser considerado que necessariamente o martelo não precisa fraturar o corpo de prova e lançar os pedaços pelo laboratório para que o resultado seja considerado. Mesmo quando não ocorre a fratura, existem métodos de registrar o ocorrido em alguma dessas categorias: quebra completa; quebra articulada (dobradiça); quebra parcial e não quebra (NB).

De acordo com as confecções dos corpos de prova do material a ser testado, a mesma deve se apresentar na forma de uma peça retangular. A norma fornece as medidas que o corpo de prova deve ter, assim como suas tolerâncias.

Segundo COSTA (2016) os ensaios de impacto charpy sem entalhe são realizados conforme os procedimentos da norma e com as dimensões de acordo com o demonstrado esquematicamente nas comparações da norma. O seu calculo é determinado por:

$$a_c u = \frac{w}{h \times b} \times 10^3 \quad (1)$$

Onde: W = energia absorvida ao quebrar os corpos de prova em J.

h = espessura do corpo de prova, mm.

b = largura do corpo de prova, mm.

3.7 PROCESSOS DE COMINUIÇÃO

A fragmentação de sólidos, também conhecida como cominuição, é a operação unitária que pode ser definida como o agrupamento de um conjunto de técnicas que tem por finalidade reduzir, por ação mecânica externa e algumas vezes são de maneira interna. Um sólido de determinado tamanho em fragmentos de tamanho menor. As técnicas de fragmentação podem ser divididas m duas classes diferentes: a britagem e a moagem.

A britagem ocorre quando a redução de tamanho envolvida visa a obtenção de produtos com granulometria superior a 10 milímetros. A britagem se desenvolve em estágios denominados britagem primária, secundária, terciária e eventualmente quaternária. Os equipamentos tradicionalmente utilizados na britagem são os britadores. A moagem ocorre quando a redução de tamanho envolvida visa a obtenção de produtos com granulometria inferior a 10 milímetros. A moagem também se desenvolve em estágios subsequentes, considerando-se

as relações de redução pertinentes. Os equipamentos mais usados no processo de moagem são os moinhos (UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA, 2013).

Os processos industriais de fragmentação de partículas são bastante complexos e apresentam baixa eficiência com relação à energia aplicada. Verificasse que a quantidade de energia elétrica consumida na operação dos equipamentos é muito maior que aquela de fato necessária para fragmentar as partículas. Dessa forma, uma pequena elevação na eficiência energética de tais processos, que pode ser alcançada entendendo melhor as características de fragmentação das partículas, pode resultar em redução considerável do consumo de energia elétrica e também de custo. (DUTRA, 2013)

Os equipamentos de britagem e moagem se utilizam de diferentes mecanismos para realizar a quebra da rede cristalina. Em geral os três mecanismos de fragmentação principais listados a seguir estão sempre presentes, prevalecendo o efeito de um deles sobre os demais.

Choque ou Impacto a fratura ocorre quando forças são aplicadas de forma rápida e em intensidade muito superior à resistência das partículas. Faz uso, em geral, da energia cinética de corpos em movimentos circulares ou cadentes. Resulta deste tipo de quebra um grande número de partículas em uma vasta faixa granulométrica. Este é o mecanismo mais eficiente em termos de utilização da energia, mas, normalmente sua aplicação é mais restrita aos materiais menos abrasivos (VALADÃO E ARAUJO, 2007).

Compressão a fragmentação por compressão envolve uma tensão que é aplicada entre duas superfícies sólidas que podem mover-se uma em relação à outra frontal ou tangencialmente para exercer a pressão necessária. Quando partículas de formato irregular são sujeitas à quebra por compressão, os produtos se apresentam em duas faixas de tamanho: partículas grossas resultante da quebra induzida pela tensão, e partículas finas da quebra por compressão no local onde a carga é aplicada (VALADÃO E ARAUJO, 2007).

Abrasão por Cisalhamento as forças aplicadas são insuficientes para provocar fraturas ao longo de toda a partícula segundo DUTRA (2013). Prevalece uma concentração de esforços (tensão localizada) na área periférica, principalmente na superfície de contato das partículas, que provoca o aparecimento de pequenas fraturas. Resulta deste tipo de quebra uma distribuição 15 granulométrica onde partículas muito pequenas convivem com partículas de tamanho próximo ao original as quais vão tendo seus diâmetros reduzidos gradativamente com o tempo.

Corte a fragmentação por corte é aquela que envolve tensão entre duas ou mais superfícies cortantes. Neste mecanismo, os cortadores são colocados verticalmente em lados

opostos, sendo que em muitos casos existe um cortador fixo e outro móvel. Exemplo deste tipo de cominuição ocorre com os moinhos de facas (DUTRA, 2013).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. MATERIAIS

4.1.1 Matriz Polimérica

O polímero utilizado no desenvolvimento deste trabalho foi a resina poliéster isoftálica insaturada, com catalisador MEK – D45, mostrados na figura 7. Fabricados e comercializados pela empresa CENTERGLASS Resinas e Fibras de vidro LTDA. O catalisador MEK-D45 foi utilizado na proporção 1 % (v/v), segundo a realização do trabalho por OLIVEIRA (2013), o mesmo conferiu boa trabalhabilidade e resistência aos compósitos fabricados.

Figura 7- Catalisador MEK - D45 e Resina Poliéster Isoftálica.



Fonte: Autor(2018)

4.1.2 Fibras vegetais de Estopeiro e Algodão Brabo

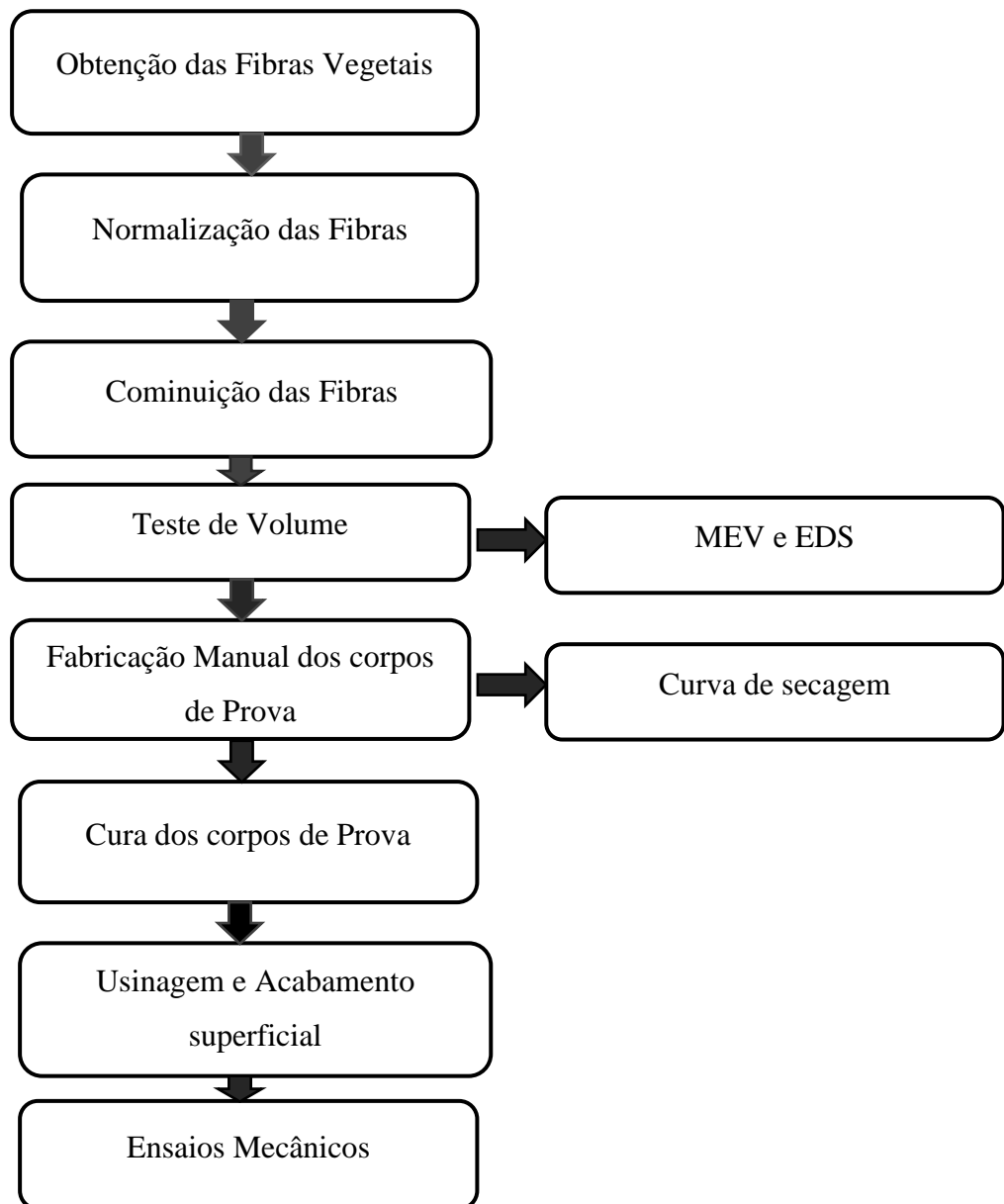
As fibras foram extraídas na região de Marabá, com a ajuda de um guia para o reconhecimento das arvores com nomes comuns de Estopeiro e Algodão Brabo. A extração da casca do caule dessas árvores foi realizada. O estopeiro é proveniente da Vila Monte Castelo, Km 54, as margens da rodovia Transamazônica e o Algodão Brabo é proveniente do km 64 na rodovia Transamazônica. As fibras foram escolhidas para o desenvolvimento do presente

trabalho devido as suas aplicações e a sua resistência aparente, que faz com que a população da zona rural utilize em grande parte essas fibras como cordas.

4.2 METODOLOGIA EXPERIMENTAL

A figura 8 descreve de forma sucinta o passo a passo, da parte experimental para obtenção dos compósitos estudados.

Figura 8- Fluxograma da metodologia empregada para caracterização mecânica dos compósitos fabricados.

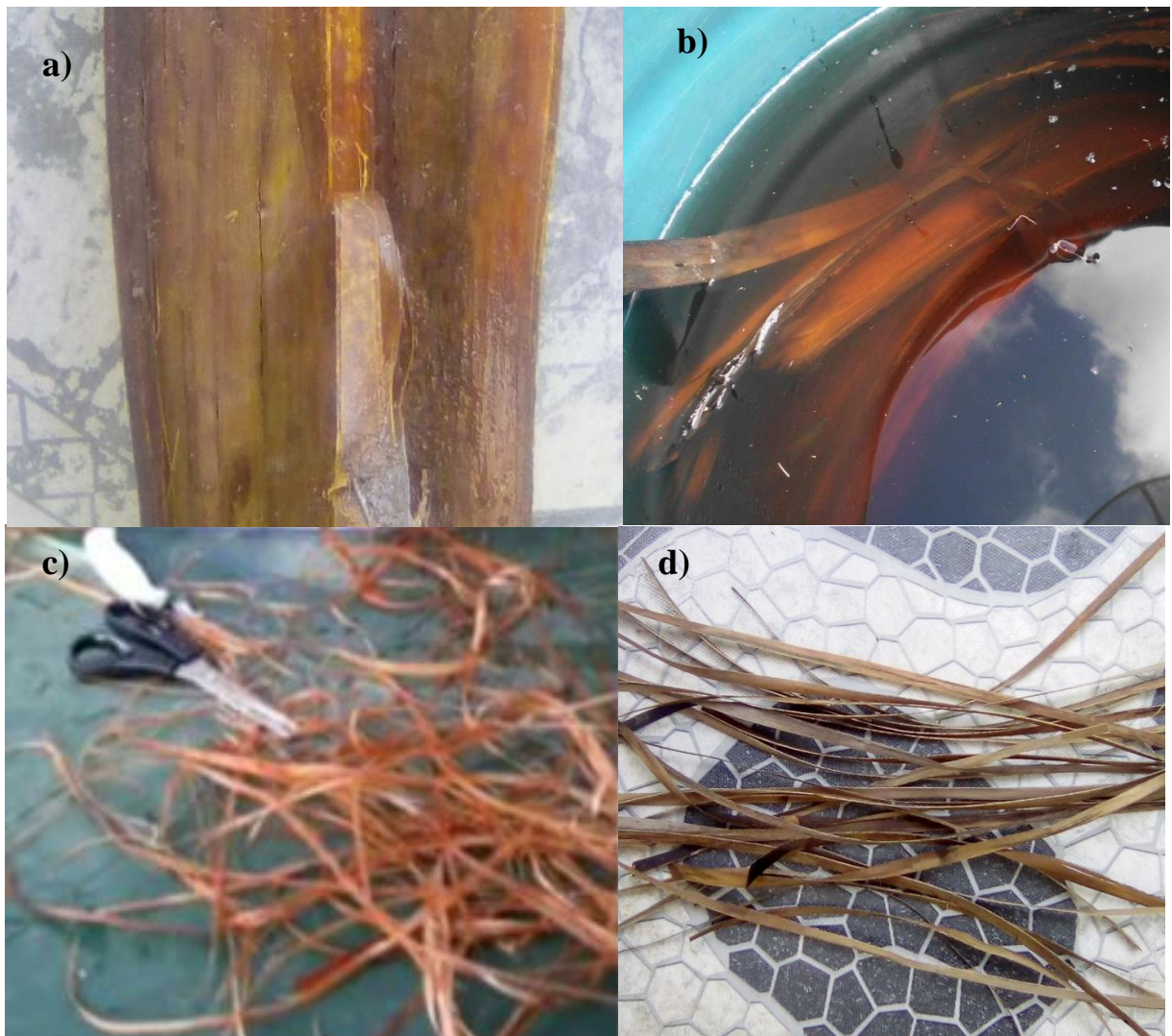


Fonte: Autor (2018)

4.2.1 Extração de Fibras Vegetais de Estopeiro e Algodão Brabo

Para a realização da extração das fibras inicialmente tivemos a ajuda de um guia para reconhecimento das árvores com nomes comuns de: Estopeiro e Algodão Brabo. Ainda com a ajuda do guia foi feita a extração da casca do caule das árvores citadas, sendo que estopeiro proveniente das matas do km 54 da Transamazônica, e a de Algodão Brabo Provenientes do Km 64 da Transamazônica. Já tendo em mãos as cascas das árvores as mantivemos submersas em água, sendo que o Estopeiro ficou submerso em água por 12 dias e o algodão brabo ficou imerso por 10 dias. Esse procedimento de imersão em água foi necessário para melhor manuseio na extração das fibras. Passados os dias as cascas já estavam prontas e então extraímos as fibras que subsequentemente foram para a normalização.

Figura 9- Obtenção das Fibras. a) Extração da Fibra da Casca; b) Fibras submersas em água; c) Normalização das fibras; d) Fibras secas.



Fonte: Autor (2018)

Com as fibras extraídas foi necessário que estas fossem normalizadas para a sua utilização adequada, esta normalização foi efetuada em relação ao tamanho e espessura, sendo o tamanho adequado de 35 cm e espessura em média de 5 mm.

Depois da normalização das fibras se torna necessário que as mesmas passem por uma secagem, essa secagem é feita de maneira natural deixando as fibras expostas ao sol até a verificação de que estejam completamente secas.

4.2.2 Cominuição das Fibras Vegetais de Estopeiro e Algodão brabo

As fibras utilizadas no trabalho foram cominuidas em um Macro Moinho de rotor vertical com facas moveis e fixas com diâmetro máximo de 20 mm, movidas através da ação de um motor bifásico com rolamento. Conhecido como Moinho de Facas, o mesmo foi fabricado pela empresa DeLeo equipamentos para laboratórios LTDA.

As fibras foram cortadas de maneira manual com tesoura, em um tamanho em torno de 30 mm para facilitar o processo de cominuição, as fibras passam por lâminas, no qual existem as laminas fixas e as laminas moveis, o processo de corte é realizado devido as laminas estarem posicionadas de lados opostos. No fundo do moinho existe uma peneira que faz a separação das fibras já cominuidas para o recipiente de deposição. Como pode ser observado na figura 10.

Figura 10 - Moinho de Facas utilizado para a cominuição das fibras



Fonte: Autor (2018)

4.2.3 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e Espectroscopia de Difração de raios-x por Dispersão de Energia (EDS) das cargas obtidas

As análises de microscopia eletrônica de varredura foram realizadas no Laboratório de Caracterização Microestrutural do Instituto de Geociências e Engenharia da Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará no equipamento de bancada da marca HITAGUI (modelo Tm 3000), mostrado na figura 11.

Figura 11-Equipamento para MEV de bancada da marca HITAGUI (modelo TM).



Fonte: Autor (2018)

Foram coletadas amostras de toda a região das cargas obtidas das fibras cominuidas, onde as imagens foram capturadas por elétrons secundários de um filamento de tungstênio de 15 kV.

A espectroscopia de raios-X por dispersão em energia (EDS) é uma técnica analítica usada para a análise elementar ou caracterização química de uma amostra. Suas capacidades de caracterização são devidas em grande parte ao princípio fundamental que cada elemento tem uma estrutura atômica única, de modo que os raios X emitidos são característicos desta estrutura, que identificam o elemento.

A análise foi realizada para observar detalhes da região das fibras através de espectroscopia de energia dispersiva (EDS), marca Hitachi, modelo Swift ED3000, para identificar fases presentes. Estes equipamento pode ser visto na Figura 12.

Figura 12- Equipamento para análise de Espectrografia de raios-x por dispersão de Energia (EDS)



Fonte: Autor (2018)

4.2.4 Fabricação dos Corpos de Prova com Fibras de Estopeiro e Algodão Brabo

Os corpos de provas dos compósitos foram fabricados em molde de silicone sem aplicação de pressão nem desmoldante, como realizado por (COSTA, 2012). Os compósitos foram fabricados a partir da mistura das cargas obtidas pela cominuição das fibras vegetais mais a resina poliéster com o catalisador. As quantidades de resina, catalisador e reforço foram previamente pesadas e misturadas até a mesma se encontrar homogênea, em torno de 5 minutos, e logo depois é vazada no molde de silicone. A figura 13 mostra as características do molde de silicone para tração e impacto.

Figura 13- Moldes de Silicone para a fabricação dos compósitos, tração e impacto respectivamente.



Fonte: Autor (2018)

Uma das etapas fundamentais no processo é a determinação da fração mássica, que é a porcentagem de valor máximo que o molde pode acomodar sem a utilização de pressão ou vibração. Esta etapa é realizada com o preenchimento até a capacidade volumétrica máxima do reforço empregado, em seguida é pesado e assim é possível realizar o cálculo para a determinação da fração mássica, depois de encontrados os valores esses são determinados como referência na trabalhabilidade do compósito. A figura 14 mostra a determinação do volume máximo de reforço.

Após a determinação da fração mássica, foi feito o levantamento de uma curva de secagem, para se obter o tempo ideal de secagem para cada fibra, na qual a massa permaneça constante. A figura 15 mostra a secagem das cargas na estufa .

Figura 14- Determinação do volume máximo de reforço



Fonte: Autor (2018)

Figura 15- Secagem das cargas na estufa



Fonte: Autor (2018)

Depois de determinada a fração mássica as cargas foram levadas a estufa para retirada de umidade em uma temperatura em torno de 75°C. A cada três minutos a carga era tirada e pesada, até se obter uma massa constante. Assim é possível determinar o teor de umidade presente nas fibras, onde foi possível calcular através da razão entre a massa antes da secagem e a massa depois da secagem.

Depois da etapa de secagem das cargas foram fabricados 12 corpos de prova de tração e 12 de impacto para as cargas obtidas das fibras de Algodão brabo e Estopeiro. A resina com proporção de 1% (v/v) de catalisador com as cargas foram misturados por cerca de 5 minutos em um recipiente e logo depois foram vazados nos moldes de silicone com a ajuda de espátulas para melhor aplicação do material nos moldes. A figura 16 mostra a confecção dos corpos de prova de tração e impacto.

Figura 16- Fabricação dos corpos de prova de tração e impacto respectivamente

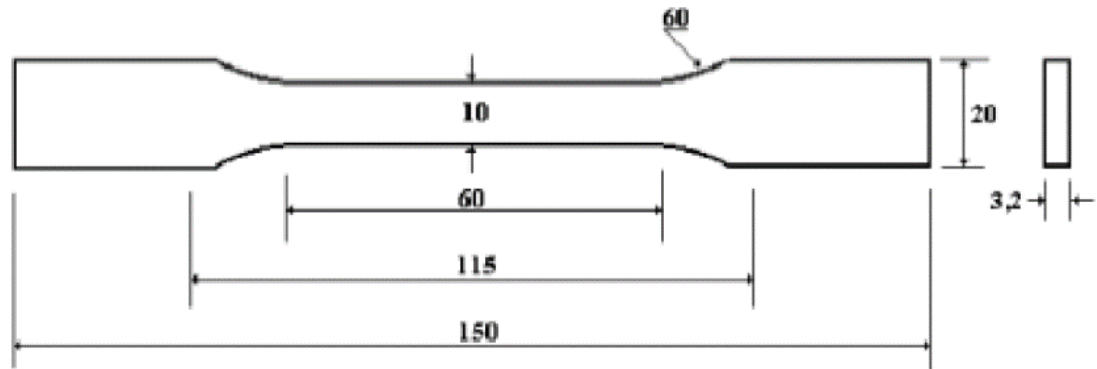


Fonte: Autor (2018)

4.2.5 Ensaio de Tração dos Materiais Compósitos com Fibras de Estopeiro e Algodão Brabo

O ensaio de tração foi realizado segundo a norma ASTM D638M e seguiram as medidas de fabricação demonstradas na figura 17.

Figura 17- Dimensões dos corpos de prova de tração segundo a norma ASTM D638M.



Fonte: COSTA, (2012).

Os corpos de prova foram fabricados a partir de moldes de silicone em uma quantidade de 24 para os ensaios com matriz reforçada com cargas de Algodão Brabo e Estopeiro. Os ensaios de tração dos compósitos foram realizados em máquina universal marca EMIC modelo DL – 10.000 com sistema de análise de dados através de software, com célula de carga de 5 kN, utilizando uma velocidade de 5 mm/min e comprimento útil para medição entre garras de 60 mm. A figura 18 mostra a máquina universal de ensaios EMIC que foi utilizada para o ensaio de tração dos compósitos reforçados com cargas a partir das fibras estudadas.

Figura 18- Máquina universal de ensaios

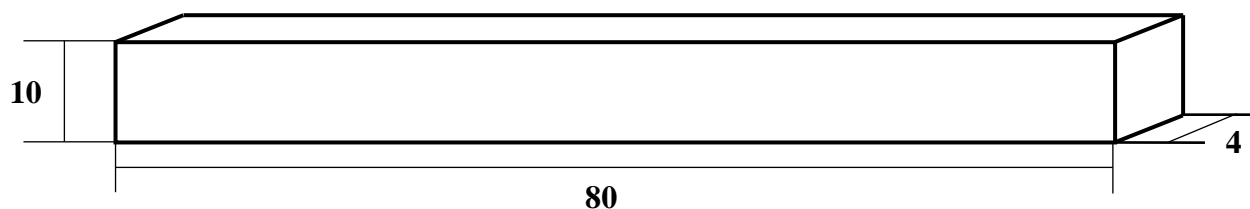


Fonte: Autor (2018)

4.2.6 Ensaio de tenacidade ao impacto Charpy dos Materiais Compósitos com Fibras Vegetais de Algodão Bravo e Estopeiro

O ensaio de tenacidade ao impacto Charpy foi realizado segundo a norma ASTM D5942, com as dimensões mostradas esquematicamente na figura 19.

Figura 19- Dimensões dos corpos de prova de impacto em milímetros.



Fonte: COSTA, (2016).

Os corpos de prova foram fabricados a partir de moldes de silicone em uma quantidade de 24 para os ensaios com matriz reforçada com cargas de Algodão Brabo e Estopeiro. No ensaio de impacto a carga é aplicada na forma de esforços por choque (dinâmicos), sendo o impacto obtido por meio da queda de um martelo ou pêndulo, de uma altura determinada, sobre a peça a examinar. O resultado é obtido com base na energia que o corpo de prova absorve para se deformar e romper. O aparelho dispõe de uma escala em joules para registro de energia requerida para fratura do corpo de prova. A figura 20 mostra a máquina de ensaio de tenacidade ao impacto Charpy, modelo JB – 300B Charpy.

Figura 20- Máquina semiautomática de tenacidade ao impacto, modelo JB - 300B Charpy



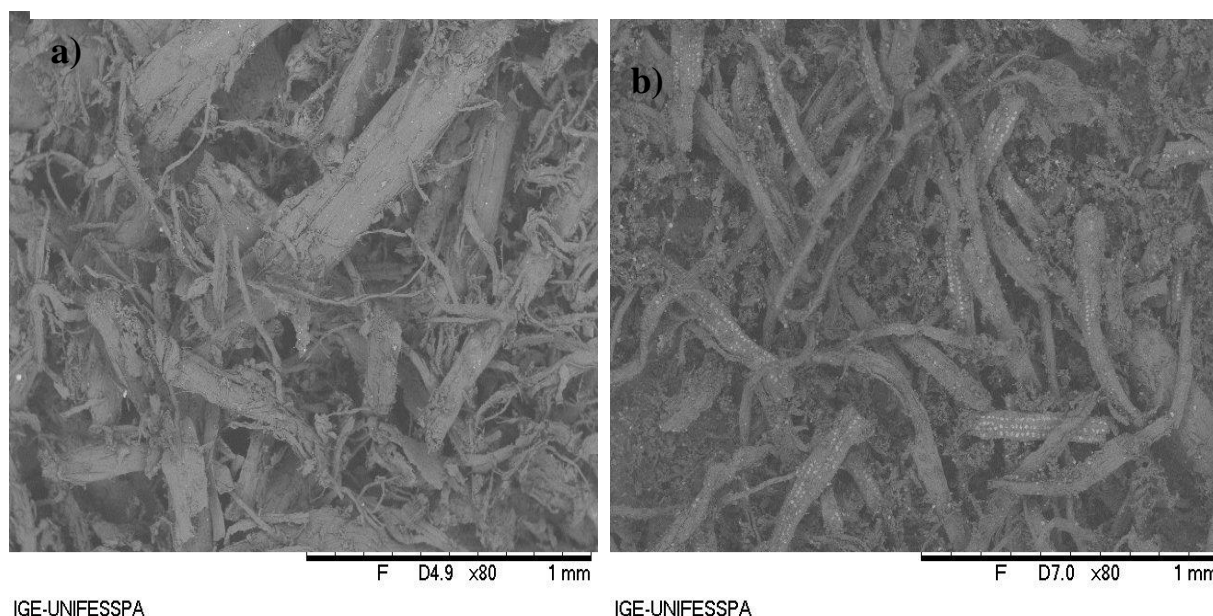
Fonte: Autor (2018)

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV) E ESPECTROGRAFIA DE RAIOS-X POR DISPERSÃO DE ENERGIA (EDS) DAS CARGAS OBTIDAS

A análise das fibras cominuidas no moinho de facas ao microscópio eletrônico de varredura, segundo as figuras 21 e 22 mostram que a morfologia das fibras de Algodão Brabo e Estopeiro são compostas por um misto de fibras e partículas. Foram observadas visualmente que as micrografias apresentavam heterogeneidade no tamanho e forma das partículas, apresentando nas cargas até partículas nanométricas.

Figura 21- Morfologia das cargas de (a) Algodão Brabo; (b) Estopeiro. Aumento de 80x

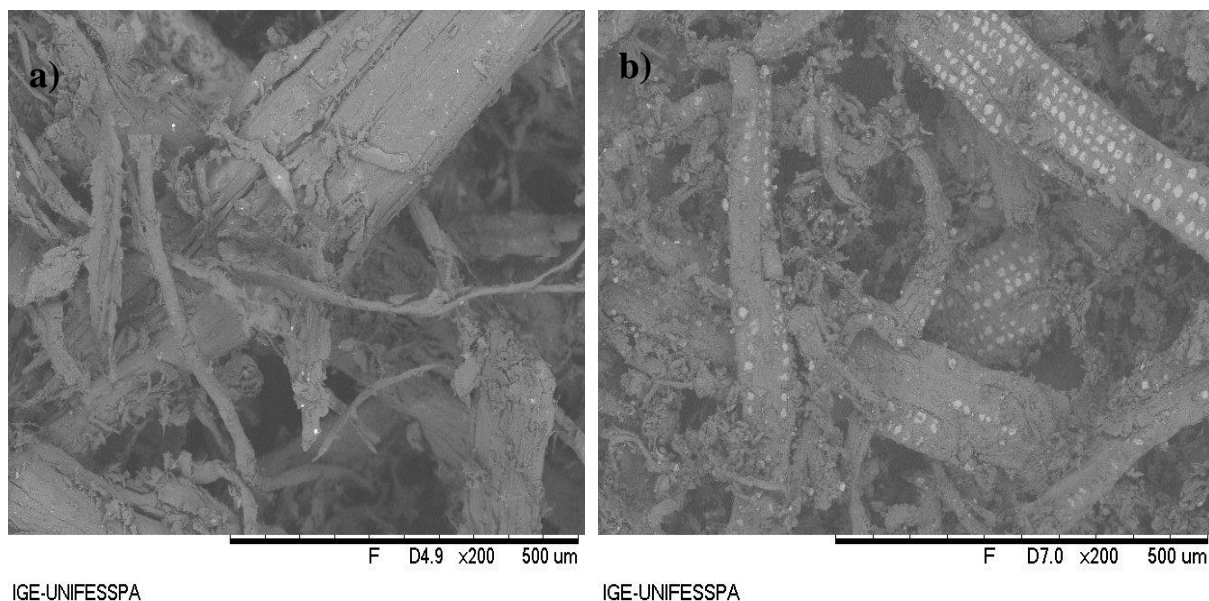


Fonte: Autor (2018)

A amostra não pode se caracterizar propriamente como um pó, mas também é de fácil observação que a mesma não é uma fibra. Depois das análises ficou conveniente tratar do reforço como carga que foram adicionadas aos compósitos fabricados, os pós que aparecem nas imagens são pós das próprias fibras cominuidas que passaram na peneira do próprio equipamento.

Com a cominuição das fibras observa-se a presença de vazios entre as cargas em todas as imagens analisadas, principalmente nas cargas de Algodão Brabo, esses vazios podem contribuir para uma melhor adesão da fibra com a matriz, porém se a viscosidade da resina for alta, isso pode contribuir para possíveis defeitos no compósito fabricado. Segundo Rodrigues, (2013), a presença de fibrilas também pode ajudar na resistência mecânica, pois as mesmas podem resistir individualmente a solicitações mecânicas.

Figura 22- Morfologia das cargas de (a) Algodão Brabo; (b) Estopeiro. Aumento de 200x.



Fonte: Autor (2018)

Um aspecto importante é a rugosidade da superfície das cargas que é fundamental na adesão da fibra-matriz, que está presente em todas as cargas analisadas, porém as cargas de Estopeiro apresentam uma maior rugosidade, isso pode ser devido ao fato das fibras de Estopeiro serem mais densas que as de algodão Brabo, e durante a cominuição isso pode ter favorecido o aparecimento de superfícies rugosas.

Foram realizadas as análises com amostras das fibras de Algodão Brabo e Estopeiro. A Tabela 3 mostra os percentuais dos elementos encontrados nas fibras.

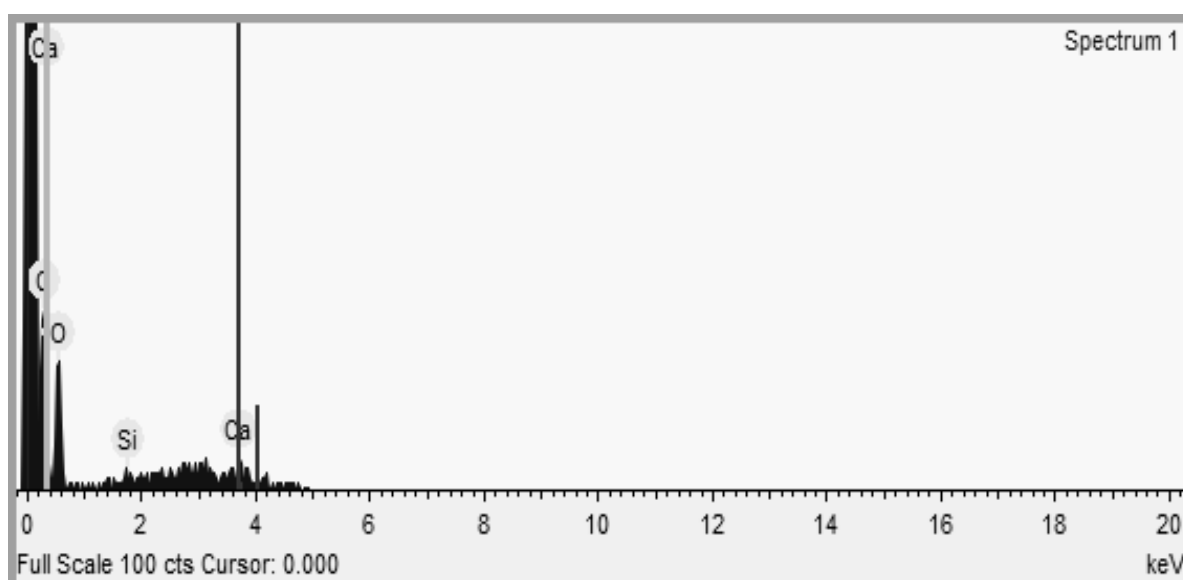
Tabela 3- Percentuais de cada elemento da análise para as cargas de Algodão Brabo e Estopeiro

Fibras	Carbono %	Oxigênio %	Cálcio %	Silício %
Algodão Brabo	44,77	43,85	9,53	1,83
Estopeiro	39,30	49,18	-	11,36

Fonte: Autor (2018)

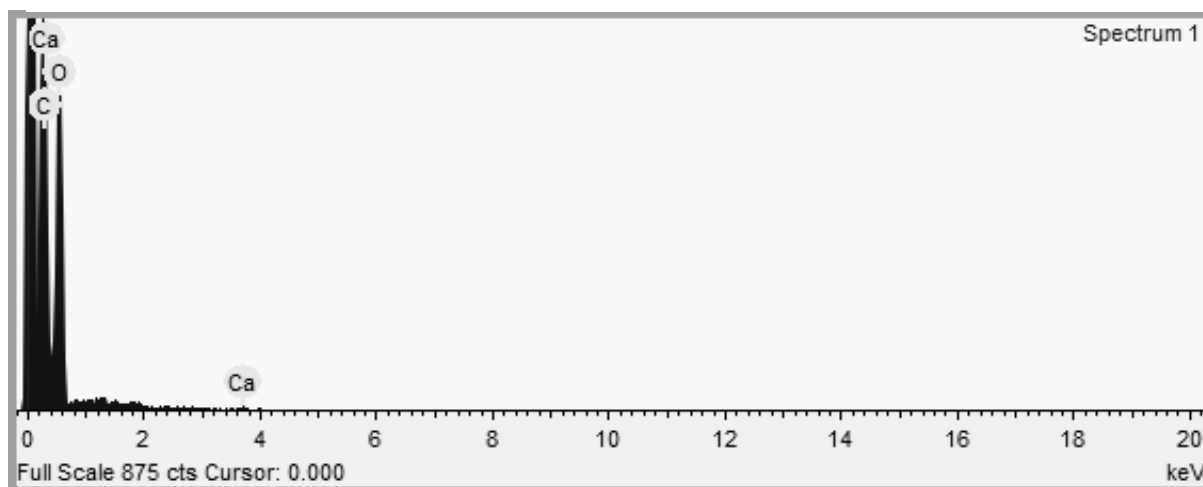
Os elementos químicos que foram encontrados no EDS fazem parte da nutrição das árvores, e são absorvidos pela atmosfera ou pelo solo, ambos fazem parte de processos químicos que ocorrem nas plantas. Assim o C, H e O fazem parte dos macronutrientes orgânicos das plantas, os quais constituem o maior peso da planta, devido serem abundantes na natureza. O Cálcio encontrado nas cargas tem função de estrutura da planta e é integrante da parede celular, como relatado por Malavolta (1976). O Silício encontrado nas plantas é absorvido pelo solo, pois o mesmo é o segundo elemento mais abundante da crosta terrestre, o mesmo apresenta importante papel no crescimento e resistência mecânica das plantas. As Figuras 23 e 24 mostram os espectros gerados nas análises de cada fibra.

Figura 23- - Espectro gerado pela análise do EDS para a Fibra de Algodão Brabo



Fonte: Autor (2018)

Figura 24- - Espectro gerado pela análise do EDS para a Fibra de Algodão Brabo



Fonte: Autor (2018)

5.2 COMINUIÇÃO DAS FIBRAS VEGETAIS DE ALGODÃO BRABO E ESTOPEIRO

Pelo processo de cominuição por moinho de facas foram obtidas as cargas utilizadas na fabricação dos corpos de prova, as cargas obtiveram boa qualidade e a granulometria foi selecionada pelo próprio equipamento que contém na saída das fibras cominuidas- uma peneira para separar as partes maiores. A característica visual das cargas obtidas é apresentada na figura 25.

Figura 25- Cargas obtidas através do processo de cominuição. a) Algodão Brabo;
b) Estopeiro



Fonte: Autor (2018)

A análise das cargas das fibras como mostrada no microscópio eletrônico de varredura no item 5.1, mostra que as cargas são compostas por um misto de fibras e partículas, no qual fibras são componentes que apresentam uma razão de aspecto, relação entre a maior e menor dimensão do pó, maior que dez, como estudado por Rowell (2006) e Ferrigno apud Rodolfo jr, (2005). Devido esses critérios optou-se por tratar os reforços empregados como carga.

5.3 FABRICAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA COM FIBRAS VEGETAIS DE ALGODÃO BRABO E ESTOPEIRO

Os processos de fabricação dos compósitos poliméricos foram feitos pelo método de moldagem manual, sem desmoldante, com a utilização de molde de silicone e adição das fibras cominuidas. As frações mássicas dos reforços empregados foram calculadas, a mesma é definida como a capacidade volumétrica do molde em acomodar o reforço sem a utilização de pressão, esse procedimento é feito sem a adição da matriz polimérica e os valores obtidos são apresentados nas tabelas a seguir, sendo que a tabela 4 são as frações mássicas dos corpos de prova para o ensaio de tração e a Tabela 5 mostra as frações mássicas dos corpos de prova para o ensaio de impacto.

Tabela 4- Fração Mássica dos corpos de prova de tração fabricados.

REFORÇO	MATERIAL	% PESO
Algodão Brabo	Carga	9,65
	Resina	90,35
Estopeiro	Carga	7,70
	Resina	92,3

Fonte: Autor (2018)

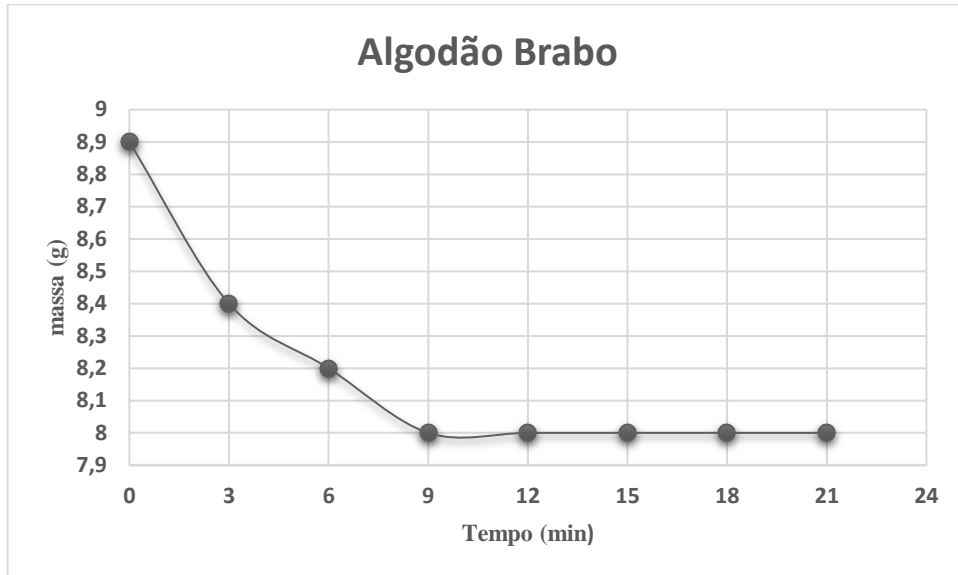
Tabela 5- Fração Mássica dos corpos de prova de impacto fabricados.

REFORÇO	MATERIAL	% PESO
Algodão Brabo	Carga	12,12
	Resina	87,88
Estopeiro	Carga	8,76
	Resina	91,24

Fonte: Autor (2018)

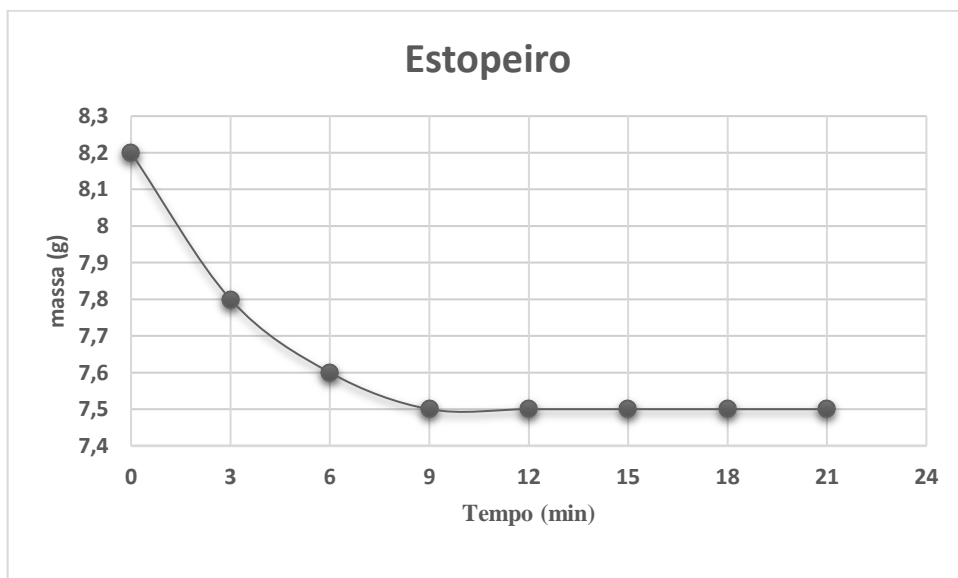
Como tratado anteriormente, durante a secagem a cada três minutos a carga foi retirada da estufa e pesada, até se obter uma massa constante, como mostra a figura 26, a massa ficou constante após nove minutos na estufa a 75°C.

Figura 26-Curva de secagem do Algodão Brabo



Fonte: Autor (2018)

Figura 27- Curva de secagem Estopeiro

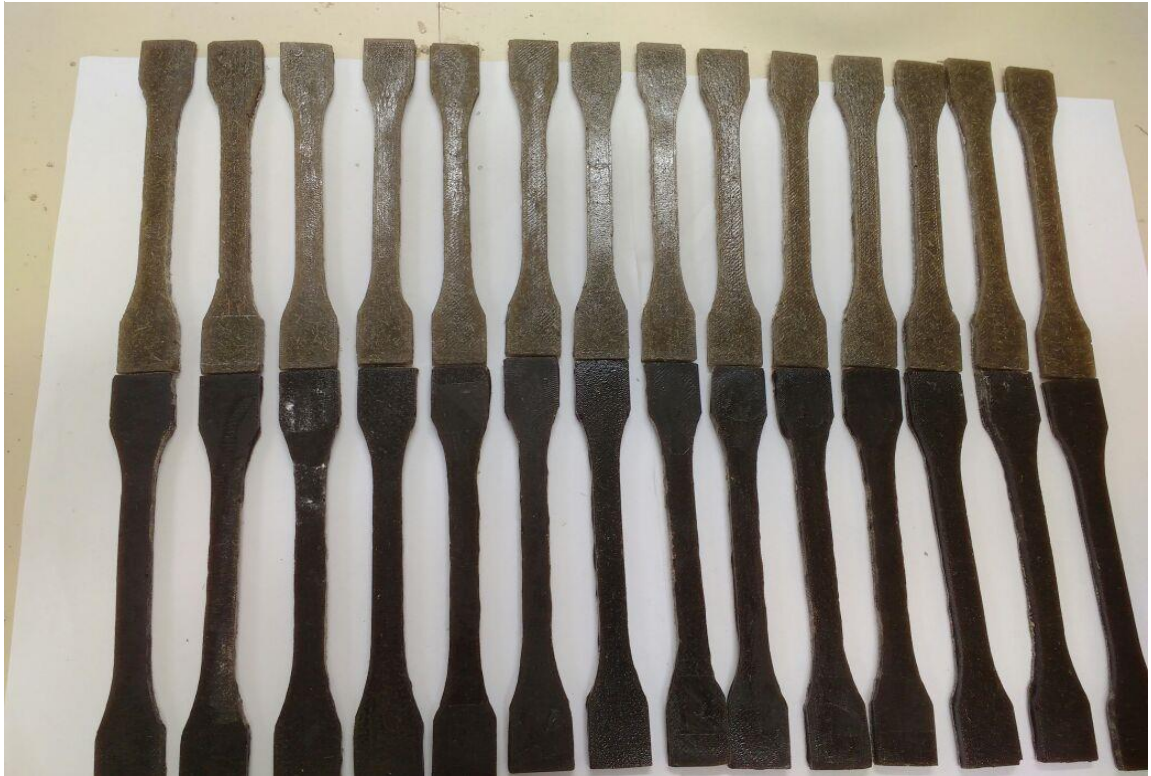


Fonte: Autor (2018)

Os compósitos obtidos passaram por um processo de inspeção visual para visualizar algum tipo de defeito na superfície, depois foram lixados para retirada das rebarbas e passaram por um acabamento superficial para a realização dos ensaios de tração e impacto charpy. As

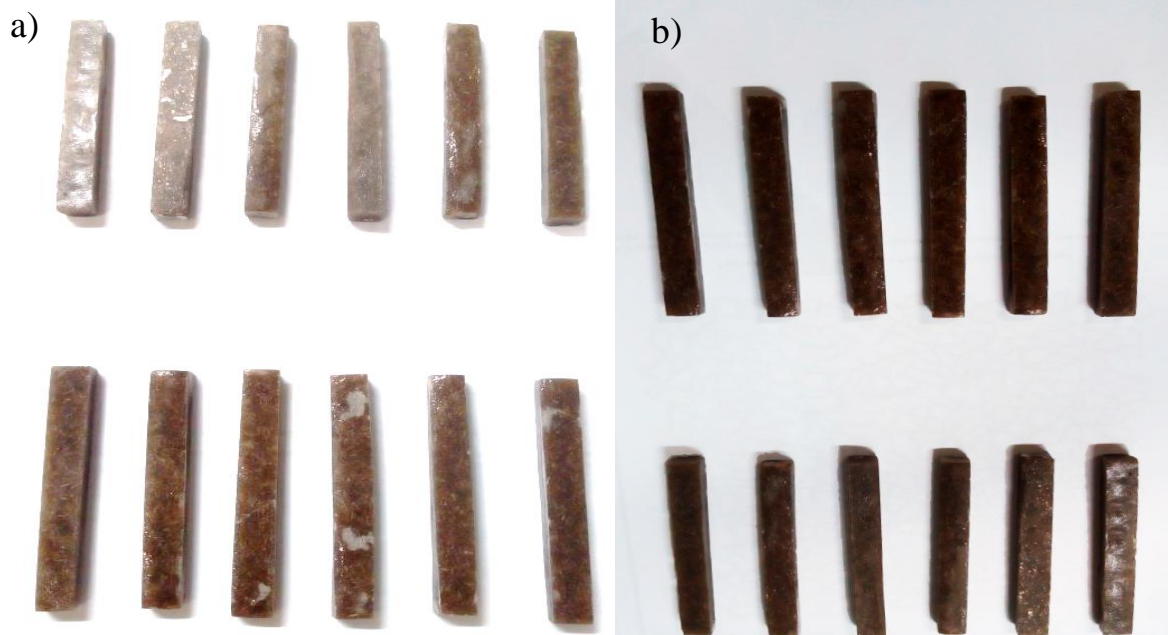
figuras 28 e 29 mostram os corpos de prova obtidos pelo processo de fabricação para o ensaio de tração e impacto Charpy respectivamente.

Figura 28- Corpos de prova de tração obtidos pelo processo de fabricação



Fonte: Autor (2018)

Figura 29- Corpos de prova de impacto charpy obtidos pelo processo de fabricação a) Algodão Brabo; b) Estopeiro



Fonte: Autor (2018)

5.4 ENSAIO DE TRAÇÃO DOS MATERIAIS COMPÓSITOS COM FIBRAS VEGETAIS DE ALGODÃO BRABO E ESTOPEIRO

A tabela 6 apresentam os resultados para os compósitos fabricados com as cargas de cada fibra utilizada no trabalho, o mesmo considera uma média dos resultados obtidos e apresentam o desvio padrão encontrado nos ensaios para uma amostragem de 12 corpos de prova para cada fibra.

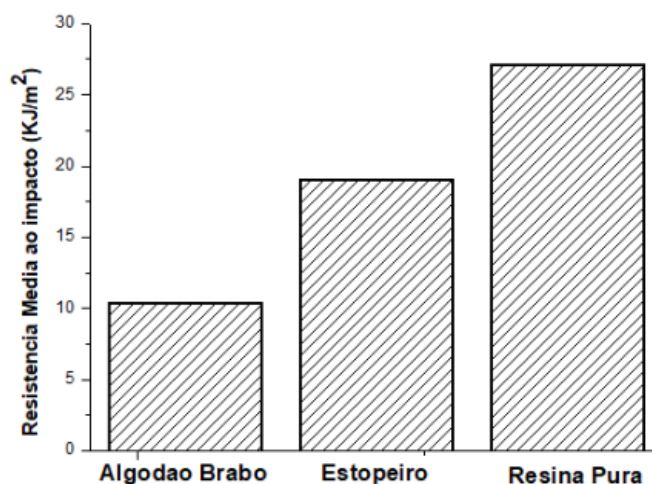
Tabela 6- Resultados obtidos no ensaio de tração para os compósitos com desvio padrão.

Cargas	Deformação Máxima (mm/mm)	Tensão Máxima (MPa)
Resina Pura	0,09 ± 0,01	33,48 ± 3,06
Algodão Brabo	0,045 ± 0,01	15,52 ± 3,01
Estopeiro	0,06±0,01	21,85±1,003

Fonte: Autor (2018)

O compósito que apresentou a maior resistência foi o fabricado com cargas da fibra de Estopeiro, o mesmo apresentou valor médio de 21,85 Mpa. Diante disso, pode-se inferior que o compósito de Estopeiro apresentou um baixo valor de tensão máxima a tração, considerando que o valor da Resina Pura foi de 33,48 Mpa. Todos os valores médios de tensão estão apresentados na figura 30.

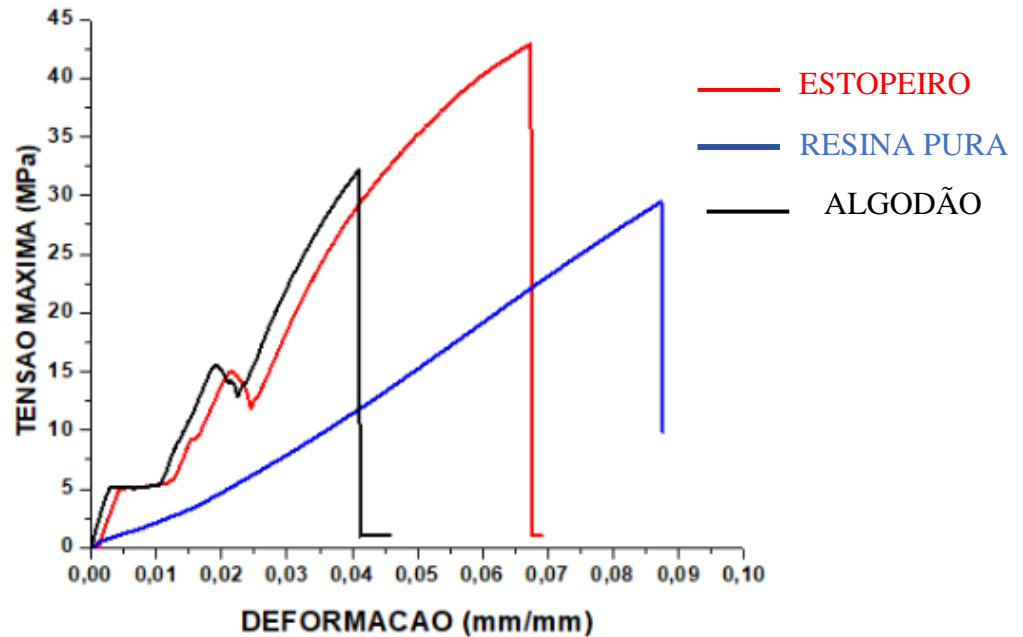
Figura 30- Gráfico de Barras para comparação entre as tensões das cargas utilizadas.



Fonte: Autor (2018)

A figura 31 mostra as características das curvas de tensão- Deformação máxima dos compósitos ensaiados.

Figura 31- Comportamento em ensaio de tração dos compósitos com cargas de Resina Pura, Algodão Brabo e Estopeiro



Fonte: Autor (2018)

Os reforços com as cargas de estopeiro tiveram um valor de resistência de até 35,5 % menor em relação a Resina, e comparado ao algodão Brabo, obteve-se um aumento de 29%. E o algodão Brabo em relação a resina pura, obteve-se uma diminuição de até 54 %.

De acordo com os resultados de Oliveira (2016), para a fibra de pindaíba, a qual obteve valor médio de resistência de 22,24 Mpa, o estopeiro apresentou uma resistência a tração menor que 2 % em relação a pindaíba.

Nesse âmbito, a deformação dos compósitos reforçados com as cargas foram menores em relação a resina pura, devido as cargas diminuírem a propriedade de ductilidade do polímero. Isso pode ter ocorrido devido à heterogeneidade granulométrica dos reforços empregados, como reportado na literatura as partículas menores possuem eficiência como reforço. E partículas grosseiras podem atuar como pontos de nucleação de trincas (RODRIGUEZ 1996).

5.5 ENSAIO DE IMPACTO DOS MATERIAIS COMPÓSITOS COM FIBRAS DE ALGODÃO BRABO E ESTOPEIRO.

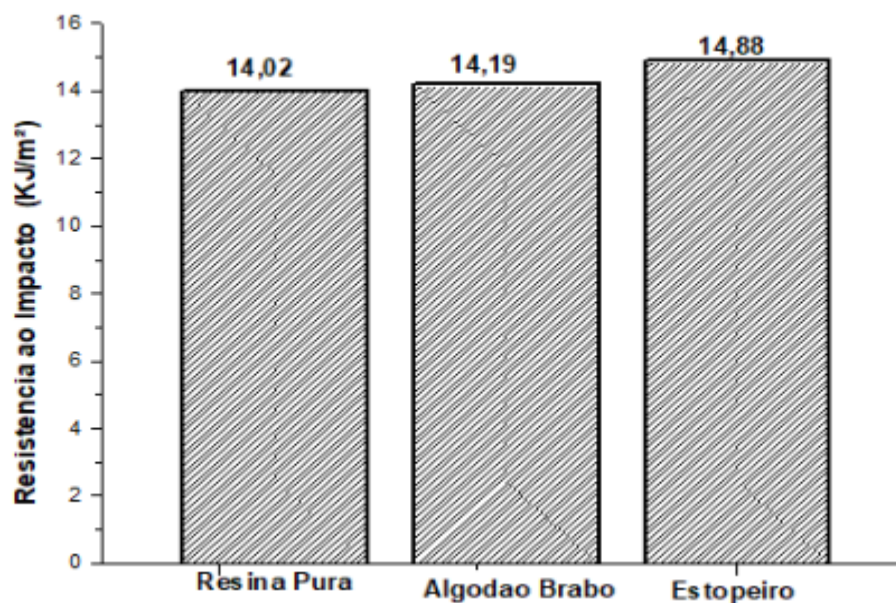
A tabela 7 apresenta os valores de Resistência ao impacto (RI) para os corpos de prova dos compósitos reforçados com cargas de Algodão Brabo e Estopeiro. A Figura 32 mostra o comportamento assumido por esse parâmetro.

Tabela 7- Resultados do ensaio de Tenacidade ao impacto para os compósitos estudados.

Reforço	Resistência ao Impacto (KJ/m ²)
Resina Pura	14,01 ± 4,86
Algodão Brabo	14,19 ± 4,50
Estopeiro	14,88 ± 4,87

Fonte : Autor (2018)

Figura 32- Comportamento do ensaio de tenacidade ao impacto charpy



Fonte: Autor (2018)

Os corpos de prova testados não apresentaram valores de resistência mecânica satisfatórios, demonstrando que não ocorreu uma boa absorção de energia por parte das fibras. Observa-se que a resina pura obteve um resultado bastante próximo ao compósito de algodão Brabo. Mostrando que o reforço de algodão Brabo não se mostrou satisfatório. Os corpos de prova reforçados com fibra de Estopeiro, obtiveram um aumento de resistência ao impacto de

6% em relação a resina pura. E de 5% em relação ao reforço de algodão Brabo. E o algodão Brabo em relação a resina obteve um aumento de 1,2 % .

Os resultados dos ensaios de impacto mostram que a utilização de cargas como reforço pode contribuir nos mecanismos de absorção de energia, contribuindo para um aumento da tenacidade do material. As cargas utilizadas são bastante heterogêneas podendo conter fibras maiores que 2 mm e até partículas manométricas, essas fibras maiores podem ter contribuído para o aumento da energia absorvida.

6 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

6.1 CONCLUSÕES

A metodologia de fabricação utilizada se mostrou satisfatória, em função da matriz ser de fácil manuseio e de fácil desmoldagem, porém a ausência de pressão pode provocar bolhas no interior dos corpos de prova, além de dificultar no processo de inserção do reforço na matriz, diminuindo a quantidade que pode ser empregada.

A utilização dos reforços obtidos através da cominuição das fibras vegetais se mostrou viável, devido às partículas menores mostrarem bons desempenhos nas propriedades mecânicas, porém com a presença de partículas grosseiras essa propriedade diminui devido à mesma atuar como ponto concentrador de tensão.

A morfologia das cargas empregadas apresentaram características bem semelhantes devido a heterogeneidade presente em todas as cargas, e da presença de partículas e de fibras distribuídas de forma aleatória.

Os compósitos fabricados com as cargas obtiveram resultados de tração com o desempenho abaixo do que apresentou a resina pura, devido à presença de partículas grosseiras. Os resultados de impacto charpy foram satisfatórios em relação à resina pura, porém não houve um aumento consideravelmente grande.

6.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS

- ✓ Aplicar outras metodologias de confecção dos compósitos e outras maneiras de utilização das fibras cominuidas como reforço, como:
- ✓ Realizar o peneiramento das cargas obtidas
- ✓ Aumentar a fração mássica das cargas utilizadas
- ✓ Fabricar compósitos híbridos de fibras maiores com as cargas
- ✓ Estudar a degradação dos compósitos reforçados com as cargas
- ✓ Determinar o módulo de elasticidade em tração dos compósitos produzidos aplicando assim técnicas de simulação computacional para confecção de novos compósitos híbridos.
- ✓ Estudar a absorção de água dos compósitos
- ✓ Empregar outras fibras naturais da Amazônia como reforço de materiais compósitos
- ✓ Aplicar a estatística de Weibull nos corpos de prova de Tração

REFERÊNCIAS

- ABDEN, M. J.; ISLAM, M. K.; AFROZE, J. D.; **Microstructure and Mechanical Properties of 3YSZ Ceramics Reinforced with Al₂O₃ Particles**; International Journal of Materials Engineering, 4(4), p.129-135. 2014
- ANTAR, G.M. **Bixaceae in Flora do Brasil 2020 em construção**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/reflora/floradobrasil/FB48296>>. Acesso em: 22 Fev. 2018
- BLEDZKI, A. K., ZHANG, W. & CHATE, A. (2001) **Composites Science**. And Technology, 61, p.2405.
- CALLISTER, W. D. JR. **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução**. São Paulo, SP. 2007.
- CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2006. v. 2, 627 p.
- CARVALHO, P. E.R. **Estopeiro: Taxonomia e Nomenclatura**. 2007. Embrapa Florestas. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPF-200909/42548/1/Circular141.pdf>>. Acesso em: 5 out. 2017.
- CASARIL, A. Modelagem matemática e avaliação experimental do módulo **de elasticidade de materiais compósitos particulados de matriz fenólica para uso como material de fricção**. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciências dos Materiais) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. Porto Alegre. 2009. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10183/18324> acesso em: Acesso em: 20 out. 2017.
- GUIMARÃES FILHO, M.A.S. **Avaliação mecânica de compósitos de resina poliéster reforçada com fibras longas de babaçu antes e após a Mercerização**. 2011. 62 p. Trabalho de Conclusão de Curso - Faculdade de Engenharia de Materiais - Universidade Federal do Pará, 2011.
- GUIMARÃES, MADEIREIRA. **Características da madeira Tauari**.2006. Disponível em:<<http://www.madguimaraes.com.br/tauari.htm>>. Acesso em: 20 jan. 2018.

JUNIOR, L.S. **Descrição macroscópica e microscópica da madeira aplicada na identificação das principais espécies comercializadas no Estado de São Paulo** – Progamas “São Paulo amigos da Amazônia” e “Cadmadeira”. 2013. Dissertação (Mestre em Ciências) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Piracicaba, 2013.

LEVY NETO, F.; PARDINI, L. C. **Compósitos estruturais: ciência e tecnologia**. São Paulo: Edgar Blucher, 2006.

MANO, Eloisa Biasotto. **Polímeros como materiais de engenharia**. São Paulo: Editora Blucher, 1991, p. 124 a 125.

MARCELO, F.S.F. MOURA, A. B. MORAIS, A. G. (2011) – “**Materiais compósitos – Materiais, fabrico e comportamento mecânico**”, Publíndústria, Produção de comunicação Lda

NETO, N. F. M. **Material compósito de matriz frágil reforçado com fibras naturais de sisal e malva: caracterização e correlações das propriedades e mecânicas**. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia mecânica), Universidade Federal do Pará, Belém, 2010.

NETO, F. L. PARDINI, L. C. **Compósitos Estruturais: Ciência e Tecnologia**. Editora: Edgard Blücher, São Paulo, SP. 2006.

NÓBREGA, M. M. S. **Compósitos de Matriz Poliéster com Fibras de Caróá Neoglaziovia Variegata: Caracterização Mecânica e Sorção de Água**. Tese (Doutorado em Engenharia de Processos) - Centro de Ciências e Tecnologia - Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, Campina Grande: PB, 2007.

PADILHA, A. F. **Materiais de Engenharia Microestrutura e Propriedades**. Hemus. Curitiba – PR, 2000.

PANZERA, T. H. **Estudo do comportamento mecânico de um compósito particulado de matriz polimérica**. Dissertação (mestrado). Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia. Programa de pós-graduação em Engenharia Mecânica, 2003.

RABELLO, M. **Aditivação de Polímeros**. São Paulo : Artiliber Ed. 2000.

RODRIGUES, J. S. **Pente De Macaco: uma alternativa para reforço em Compósitos Poliméricos antes e após mecerização.** Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Federal do Pará – Faculdade de Engenharia de Materiais. 2013.

RODRIGUEZ, F. **Principies of Polymer Systems.** Taylor & Francis. Washington, DC. 1996.

SILVA, L. J.. **Estudo experimental e numérico das propriedades mecânicas de compósitos poliméricos laminados com fibras vegetais.** 2010. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia dos Materiais), Universidade Federal de Porto Alegre, 2010.

SILVA, C. D.; FREIRE JUNIOR, R. C. S.; AQUINO, E. M. F. **Análise de mecanismo de danos em compósitos híbridos, tipo sanduíche utilizando fibras naturais.** Anais: Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciências dos Materiais, Porto Alegre, 2004.

SILVA, I. L.A. **Propriedades e estrutura de compósitos poliméricos reforçados com fibras contínuas de juta.** 2014. 88 p. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciências dos Materiais) – Centro de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Campos dos Goytacazes, RJ. 2014.

SHACKELFORD, J. F. **Materials Science for Engineers.** 6.ed. Peason Prentice Hall. New Jersey – USA, 2005.

REMADE, **PORTAL. Tauari – Madeira Alternativa.** Disponível em: <<http://www.remade.com.br/br/noticia.php?num=1446&title=Tauari%20%20A%20madeira%20alternativa>> acesso em 01 de Dezembro 2017.