



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

WILKER COSTA 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 MUTAMBA, PENTE
DE MACACO E PINDAÍBA

Marabá
2017

WILKER COSTA 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 MUTAMBAPENTE
DE MACACO E PINDAÍBA**

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. Esp. Márcio Paulo de
Araújo Mafra.

Marabá
2017

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

Oliveira, Wilker Costa 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 Mutumba, Pente de Macaco e Pindaíba. Wilker Costa de Oliveira / ; orientador, Márcio Paulo de Araújo Mafra. — 2017.

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, 2017.

1. Compostos poliméricos. 2. Engenharia de materiais. 3. Desenvolvimento sustentável. 4. Caracterização Mecânica – (Materiais e Processos). 5. Madeira - Reaproveitamento I. Mafra, Márcio Paulo de Araújo, orient. II. Título.

CDD: 21. ed.: 620.118

WILKER COSTA 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 MUTAMBA, PENTE
DE MACACO E PINDAÍBA**

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. Esp. Márcio Paulo de
Araújo Mafra.

Data de aprovação: ____ / ____ / ____ .

Conceito: _____

Banca examinadora:

_____ - Orientador

Prof. Esp. Márcio Paulo de Araújo Mafra / UNIFESSPA

_____ - Membro interno

Prof. Dr. Elias Fagury Neto / UNIFESSPA

_____ - Membro interno

Prof. Jailes de Santana Moura / UNIFESSPA

Dedico esse trabalho aos meus pais, Telma Costa de Oliveira e Antônio Lima de Oliveira, ao meu avô Pedro Joaquim (*In Memoriam*) as minhas tias Terezinha de Jesus, Maria José, Telnice Costa e Nilde Oliveira. Dedico também aos meus irmãos Wagner Oliveira, Wolney Oliveira e Walker Oliveira.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus primeiramente. Aos meus pais, pela dedicação e determinação, principalmente minha mãe Telma Costa, por toda a dedicação na minha criação e na minha formação e dos meus irmãos que tanto me apoiaram, agradeço aos meus sobrinhos e a todos os familiares pelo apoio e força.

A todos os meus primos, principalmente: Ricardo, Gisele, Tayane, Andreadson, Tiago, Mateus, Igor, Tean, Taille, Cássia, Ketémy, as minhas cunhadas Joice, Nádia e Karine. Agradeço aos amigos e principalmente os que sempre me apoiaram: Valdenor Junior, Luan Melquizedeque, Uriel Dias, Lucas Medeiros, Amanda Cristina, Kelvin Alif (*in memoriam*).

Aos meus tios e minhas tias que tanto se dispuseram a me ajudar em tudo que eu precisasse. Agradeço a Escola Liberdade que me formou desde o Ensino Fundamental e a todos os meus professores de lá, principalmente as professoras: Mônica Abutrab e Ranielma, que com certeza sem elas eu não estaria vivendo esse momento. Agradeço a Keila que trabalhava no Cursinho do Êxito e a todos os professores, principalmente a Elisângela Ravani que fez com que eu me apaixonasse pela Química.

Aos meus amigos Paulo César, Hilbenária Mercedes, Fiama Gomes, Wirland Melo, Samara Alves, Dayane Antunes, Maria Rita, Hanna Barros, Pâmella Moreira, Naira Cavalcante, esses amigos da faculdade que eu sempre pude contar pra tudo, nós vivemos momentos de desespero e de muitas alegrias, se não fosse por eles eu não estaria obtendo esse grau hoje, eles tornaram tudo suportável e sempre me apoiaram nas dificuldades.

Aos funcionários da UNIFESSPA, aos técnicos, aos professores da FEMAT, em especial ao meu orientador pela paciência e compreensão nesta fase final e importante da minha graduação, Ao professor Fujiyama pela paciência e pelo ensinamento, ao Carlos e a Tássia por terem nos ajudado com as Fibras e ao Laboratório de Compósitos do ITEC da Universidade Federal do Pará por ter nos acolhido durante as etapas de confecção dos compósitos.

“O que sabemos é uma gota; o que ignoramos é um oceano” - Isaac Newton.

RESUMO

Atualmente existe uma grande preocupação com o meio ambiente, o que torna necessário a busca de materiais que sejam sustentáveis e contribuam para o desenvolvimento sustentável. O uso de fibras vegetais na fabricação de compósitos poliméricos tem ganhado destaque, com um grande número de pesquisas que estão em desenvolvimento atualmente, garantindo uma aplicação vasta desses materiais e tendo como potencial uma aplicação tecnológica. As fibras que foram utilizadas no trabalho foram Pente de Macaco (*Apeiba Tibourbou Aubl.*), Mutamba (*Guazuma Umifolia*) e Pindaíba (*Guatteria Poeppigiana*), no qual são bastante típicas de regiões tropicais, as fibras passaram por um processo de cominuição e foram utilizadas como cargas na fabricação dos compósitos. O trabalho teve como objetivo desenvolver e caracterizar mecanicamente compósitos poliméricos reforçados com adições de cargas das fibras de Pente de Macaco, Mutamba e Pindaíba. No qual foram fabricados em molde de silicone de maneira aleatória, foi realizado o estudo das propriedades mecânicas dos compósitos através de corpos de prova para o ensaio de tração, segundo a norma ASTM D638 e o ensaio de impacto, segundo a norma ASTM D5942. 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, em seguida 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 o resultado do impacto charpy apresentaram valores satisfatórios.

PALAVRAS CHAVES: Compósito Polimérico; Pindaíba; Mutamba; Pente de Macaco; Caracterização Mecânica.

ABSTRACT

Currently there is a great concern with the environment, which makes it necessary to search for materials that are sustainable and contribute to sustainable development. The use of plant fibers in the manufacture of polymer composites has gained prominence, with a large number of researches currently under development, guaranteeing a wide application of these materials and having as potential a technological application. The fibers to be used in the work were Apeiba Tibourbou Aubl, Guazuma Umifolia) and Pindaíba (*Guatteria Poeppigiana*), in which they are quite typical of tropical regions, the fibers have undergone a process of comminution and are used as loads in the manufacture Of composites. The work aims to develop and characterize mechanically reinforced polymer composites with additions of charges of the fibers of Apeiba Tibourbou Aubl., Guazuma Umifolia and *Guatteria Poeppigiana*. In this work, the mechanical properties of the composites were studied by means of test specimens for the tensile test according to ASTM D638 and for the impact test according to the standard ASTM D5942. The composites were fabricated 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, the specimens were machined to perform 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 result of the charpy impact presented satisfactory values.

KEYWORDS: Polymeric composite; Pindaíba; Mutamba; Pente de Macaco; Mechanical Characterization.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Classificação dos compósitos em forma de organograma.	19
Figura 2 - Compósitos com diferentes reforços: a) fibras curtas aleatórias; b) partículas; c) laminados; d) partículas lamelares; e) fibras longas desalinhasadas.	20
Figura 3 - Representação de uma fibra-celular, onde mostram as paredes celulares e suas divisões.....	23
Figura 4 - Macromolécula de um poliéster curado.....	27
Figura 5 - Árvore e características do caule e do fruto do Pente de Macaco (Apeiba Tibourbou).....	29
Figura 6 - Características da Árvore e do Tronco da Mutamba (Guazuma ulmifolia).....	31
Figura 7 - Característica da árvore e do tronco de Pindaíba (<i>Guatteria Poeppigiana</i>).....	32
Figura 8 - Padrões de enrolamento da fibra sobre o mandril: a) polar, b) helicoidal e c) circunferencial.	34
Figura 9 - Fragmentação por corte.	38
Figura 10 - a) Resina Poliéster Isoftálica; b) Catalisador MEK - D45.	39
Figura 11 - Fluxograma da metodologia empregada para caracterização mecânica dos compósitos fabricados.....	41
Figura 12 - Obtenção das Fibras. a) Extração da Fibra da Casca; b) Submersão das Fibras em água; c) Normalização das Fibras; d) Fibras Secas.	42
Figura 13 - Moinho de Facas utilizado para a cominuição das fibras.	44
Figura 14 - Equipamento para MEV de bancada da marca HITACHI (modelo TM).....	44
Figura 15 - Equipamento para análise de Espectrografia de raios-x por dispersão de Energia (EDS).....	45
Figura 16 - Moldes de Silicone para a fabricação dos compósitos, tração e impacto respectivamente.	46
Figura 17 – a) Teste de Volume; b) Estufa utilizada no procedimento; c) Secagem das cargas na Estufa.....	47

Figura 18 - Fabricação dos corpos de prova de tração e impacto respectivamente.	48
Figura 19 - Dimensões dos corpos de prova de tração segundo a norma ASTM D638M.	48
Figura 20 - Máquina universal de ensaios EMIC, modelo DL - 10.000.	49
Figura 21 - Dimensões dos corpos de prova de impacto em milímetros.	50
Figura 22 - Máquina semiautomática de tenacidade ao impacto, modelo JB - 300B Charpy.	50
Figura 23 - Fibras normalizadas para o processo de cominuição. a) Mutamba e b) Pente de Macaco	51
Figura 24 - Morfologia das cargas de (a) Mutamba; (b) Pente de Macaco e (c) Pindaíba. Aumento de 80x.	52
Figura 25 - Morfologia das cargas de (a) Mutamba; (b) Pente de Macaco e (c) Pindaíba. Aumento de 200x.	53
Figura 26 – Espectrografia do EDS para as fibras de: a) Fibra de Mutamba; b) Pente de Macaco e c) Pindaíba.	55
Figura 29 - Cargas obtidas através do processo de cominuição. a) Pindaíba; b) Mutamba; c) Pente de Macaco.	56
Figura 30 - Corpos de prova de tração obtidos pelo processo de fabricação. a) Mutamba; b) Pente de Macaco; c) Pindaíba.	58
Figura 31 - Corpos de prova de impacto charpy obtidos pelo processo de fabricação. a) Mutamba; b) Pente de Macaco; c) Pindaíba.	58
Figura 32 - Comportamento em ensaio de tração dos compósitos com cargas de a) Resina Pura; b) Mutamba; c) Pente de Macaco; d) Pindaíba e e) Gráfico de Barras para comparação entre as tensões entre as cargas utilizadas.	60
Figura 33 - Comportamento do ensaio de tenacidade ao impacto charpy	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Constituição básica de algumas fibras vegetais.	23
Tabela 2 - Comparação das propriedades entre termoplásticos e termorrígidos.	25
Tabela 3 - Percentuais de cada elemento da análise para as cargas de Mutamba, Pente de Macaco e pindaíba.	54
Tabela 4 - Fração Mássica dos corpos de prova de tração fabricados.	57
Tabela 5 - Fração Mássica dos corpos de prova de impacto fabricados.	57
Tabela 6 - Resultados obtidos no ensaio de tração para os compósitos com desvio padrão.	59
Tabela 7 - Resultados do ensaio de tenacidade ao impacto para os compósitos estudados.	63

Sumário

1. INTRODUÇÃO	15
2. OBJETIVOS.....	17
2.1. OBJETIVOS GERAIS.....	17
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	18
3.1. MATERIAIS COMPÓSITOS.....	18
3.1.1. Materiais Compósitos com Reforço de Partículas	21
3.1.2. Materiais Compósitos com Reforço de Fibras Vegetais.....	22
3.2. MATRIZ POLIMÉRICA	24
3.2.1. Matriz Poliéster	26
3.3. FIBRAS NATURAIS	28
3.3.1. Fibras de Pente de Macaco	28
3.3.2. Fibras de Mutamba.....	30
3.4. FABRICAÇÃO DE MATERIAIS COMPÓSITOS.....	33
3.5. NORMAS DE ENSAIO DE TRAÇÃO E IMPACTO DE MATERIAIS COMPÓSITOS.....	34
3.5.1. Norma ASTM D638	34
3.5.2 ASTM D5942.....	35
3.6. PROCESSOS DE COMINUIÇÃO	36
4. MATERIAIS E MÉTODOS	39
4.1. MATERIAIS	39
4.1.1 Matriz Polimérica.....	39
4.1.2 Fibras vegetais de Pente de Macaco, Mutamba e Pindaíba.....	39
4.2. METODOLOGIA EXPERIMENTAL	41
4.2.1. Obtenção das Fibras Vegetais de Mutamba, Pente de Macaco e Pindaíba	42

4.2.2. Cominuição das Fibras Vegetais de Mutamba, Pente de Macaco e Pindaíba	43
4.2.3. Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e Espectroscopia de Difração de raios-x por Dispersão de Energia (EDS) das cargas obtidas. 44	44
4.2.5. Fabricação dos Corpos de Prova com Fibras Vegetais de Mutamba, Pente de Macaco e Pindaíba	46
4.2.5. Ensaio de Tração dos Materiais Compósitos com Fibras Vegetais de Mutamba, Pente de Macaco e Pindaíba.....	48
4.2.6. Ensaio de tenacidade ao impacto Charpy dos Materiais Compósitos com Fibras Vegetais de Mutamba, Pente de Macaco e Pindaíba	49
5.1. OBTENÇÃO DAS FIBRAS VEGETAIS DE MUTAMBA, PENTE DE MACACO E PINDAIBA	51
5.2. MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV) E ESPECTROGRAFIA DE RAIOS-X POR DISPERSÃO DE ENERGIA (EDS) DAS CARGAS OBTIDAS	51
5.3. COMINUIÇÃO DAS FIBRAS VEGETAIS DE MUTAMBA, PENTE DE MACACO E PINDAIBA	55
5.4. FABRICAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA COM FIBRAS VEGETAIS DE MUTAMBA, PENTE DE MACACO E PINDAÍBA.....	56
5.5. ENSAIO DE TRAÇÃO DOS MATERIAIS COMPÓSITOS COM FIBRAS VEGETAIS DE MUTAMBA, PENTE DE MACACO E PINDAIBA.....	59
5.6. ENSAIO DE IMPACTO DOS MATERIAIS COMPÓSITOS COM FIBRAS VEGETAIS DE MUTAMBA, PENTE DE MACACO E PINDAÍBA.....	63
6. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	64
6.1. CONCLUSÕES	65
6.2. SUGESTÕES PARA TRABALHOS.....	66
7. REFERÊNCIAS.....	66

1. INTRODUÇÃO

Os materiais compósitos poliméricos reforçados por fibras vegetais vêm sendo investigados, nos últimos anos, pela comunidade científica e industrial na busca de novos materiais que possam substituir eficientemente os materiais sintéticos em diversas aplicações, principalmente nas indústrias da construção civil, automobilística, aeronáutica e naval. Características inerentes aos compósitos naturais, tais como moderada resistência mecânica associada ao baixo peso específico, baixo custo, aliada às exigências por matérias-primas sustentáveis e renováveis têm estimulado a realização de novas pesquisas nessa área (SILVA, 2010)

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 Segundo (NÓBREGA, 2007).

Boas propriedades mecânicas combinadas com baixa densidade tornam as fibras naturais um bom componente para a aplicação em compósitos e desenvolvimentos de materiais de baixo custo, tais como divisórias, cestos, luminárias, etc. Além de melhorar as propriedades mecânicas dos materiais, a substituição de polímeros com fibras naturais, diminui o custo do produto e a utilização de fontes não renováveis, a exemplo temos a resina poliéster usada neste trabalho, o que industrialmente se torna um dos principais motivos das crescentes e relevantes novas pesquisas na área de compósitos poliméricos. Também deve ser mencionado que a natureza oca, de fibras vegetais, pode conceder o isolamento acústico ou dependendo do tipo de matriz, promover determinadas propriedades de amortecimento (GUIMARÃES FILHO, 2011).

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).

As fibras utilizadas foram: Pindaíba que é encontrada na Região Norte em abundância e de onde é possível a retirada da fibra de seu caule; Pente de Macaco, a mesma é encontrada com facilidade em quase todas as regiões do Brasil e possui uma grande utilização por ribeirinhos como cordas; Mutamba árvore bastante abundante em todo o Brasil e possui boa qualidade em sua fibra extraída do caule. 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 foi produzir corpos de provas de compósitos reforçados com partículas de fibras vegetais cominuidas e avaliar seu comportamento mecânico a partir de ensaios de tração e impacto.

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 Mutamba, Pente de Macaco e Pindaíba.

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 da Espectroscopia de Energia Dispersiva de Raios-X (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;
- ✓ Avaliar as propriedades mecânicas das fibras cominuidas em relação com o que se encontra na literatura.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. MATERIAIS COMPÓSITOS

A conscientização da sociedade firmada no conceito de desenvolvimento sustentável exige a produção de materiais ecológicos de baixo custo e consumo de energia reduzida. Buscam-se produtos capazes de satisfazer requisitos fundamentais como a conservação de recursos naturais não renováveis e a manutenção de um ambiente saudável (NETO *et al.*; 2007).

Um material compósito pode ser definido como sendo uma combinação de dois ou mais materiais, onde está presente uma fase contínua, constituída pela matriz, e a fase descontínua, o reforço, sob forma de fibras, partículas esféricas ou plaquetas, embebidas na matriz, sendo que cada qual permanece com suas características individuais (CALLISTER, 2007).

A matriz geralmente é um material contínuo que envolve a fase dispersa. As propriedades de um compósito são decorrentes de fatores como a geometria da fase dispersa, distribuição, orientação e também da compatibilidade interfacial entre os constituintes da mistura. É necessário que haja uma afinidade entre os materiais que foram unidos, pois devem trabalhar juntos respondendo aos esforços físicos do meio. Por isso é muito importante conhecer as propriedades químicas e físicas dos diferentes materiais que foram unidos. Como, as propriedades das interfaces destes materiais (NETO *et al.*; 2007).

A adesão de um material a outro está associada ao estabelecimento de interações que podem ser dos tipos: ligações covalentes, forças de van der Waals, ligações de hidrogênio e interação eletrostáticas. A natureza destas interações está associada à afinidade química entre a matriz e a fase dispersa. Geralmente a fase dispersa apresenta natureza hidrofílica enquanto que a matriz polimérica tem natureza hidrofóbica. A compatibilidade destas duas fases pode ser melhorada através da modificação química da superfície de um dos componentes (SILVA, 2014).

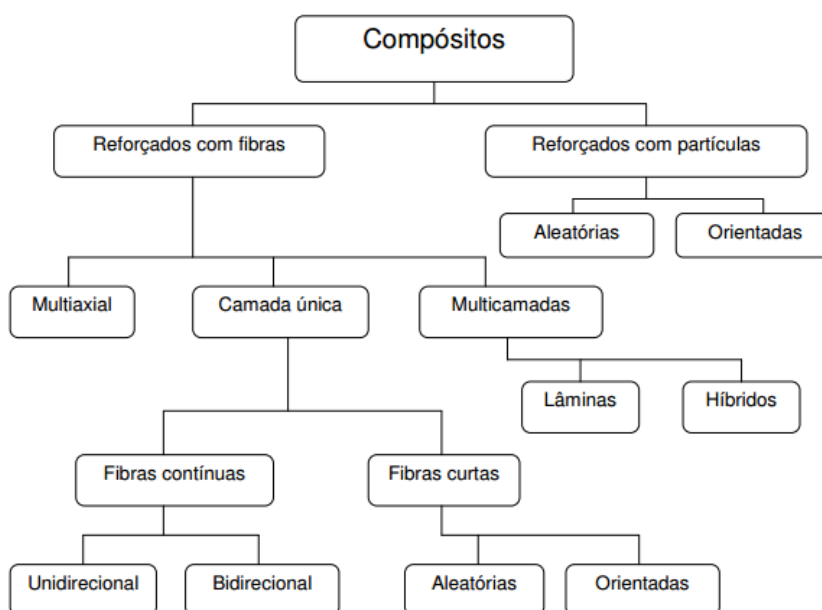
A adesão inadequada entre as fases envolvidas na interface poderá provocar o início de falhas, comprometendo o desempenho do compósito.

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)

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 (ARAÚJO NETO, 2010).

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 (SILVA JUNIOR, 2013).

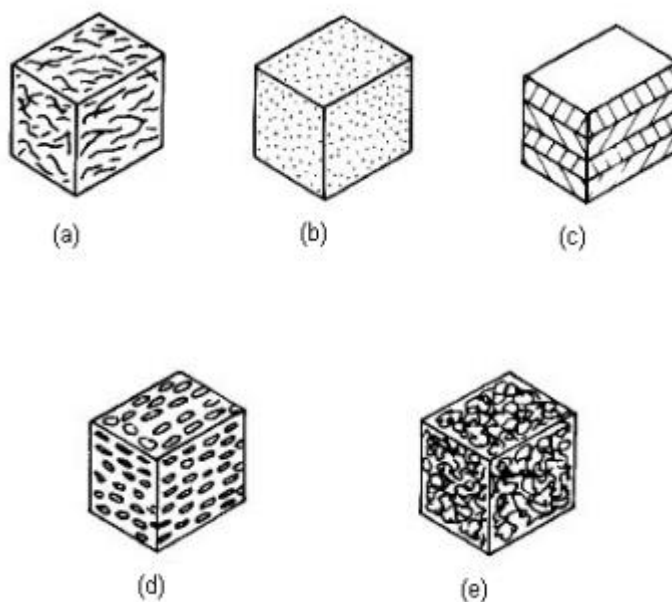
Figura 1 - Classificação dos compósitos em forma de organograma.



Fonte: LEVY NETO E PARDINI (2006).

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). O componente de reforço no compósito pode estar na forma particulada, na forma de laminados ou de fibras. O maior volume de aplicação de reforço envolve fibras, filamentos ou monofilamentos. O aspecto unidirecional da fibra permite a fabricação da estrutura do reforço, através das facilidades têxteis a que as fibras podem ser submetidas, como: tecidos; não-tecidos (nonwoven); mechas (roving); fios e outros (NÓBREGA, 2007). Como mostra a Figura 2 em relação aos tipos de reforços utilizados.

Figura 2 - Compósitos com diferentes reforços: a) fibras curtas aleatórias; b) partículas; c) laminados; d) partículas lamelares; e) fibras longas desalinhadas.



Fonte: NÓBREGA, (2007).

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).

3.1.1. 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 (LEVY 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).

3.1.2. 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 (OLIVEIRA, 2013). Como mostra a Tabela 1.

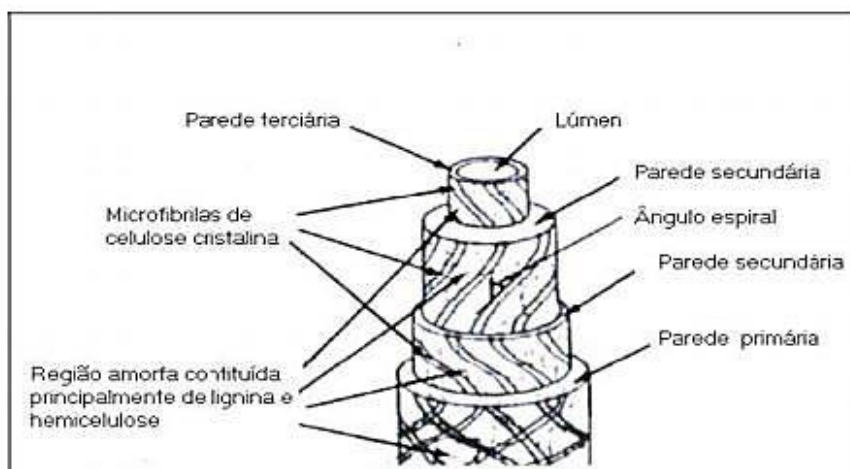
Tabela 1- Constituição básica de algumas fibras vegetais.

	Bucha	Juta	Linho	Rami	Sisal	Algodão
Celulose (%)	62,0	64,4	64,1	68,6	65,8	81,7
Hemicelulose (%)	9,4	12,0	16,7	13,1	12,0	3,8
Pectina (%)	3,2	0,2	1,8	1,9	0,8	2,7
Lignina (%)	11,2	11,8	2,0	0,6	9,9	-
Solúvel a água (%)	1,7	1,1	3,9	5,5	1,2	1,0
Cera (%)	-	0,5	1,5	0,3	0,3	0,6
Água (%)	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
Outros (%)	2,5	-	-	-	-	0,2

Fonte: OLIVEIRA, (2013).

O principal componente das microfibrilas é a celulose. As microfibrilas de celulose estão interligadas por uma rede de moléculas de hemicelulose. A rede celulose-hemicelulose é permeada por pectinas. Outro importante constituinte das paredes é a lignina, substância hidrofóbica impregnada principalmente nas camadas próximas à superfície, e que tem função de sustentação. De acordo com a Figura 3, que mostra a constituição de uma fibra-celular.

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).

Entre outras inúmeras aplicações, os compósitos com fibras vegetais possuem um enorme potencial de aplicação estrutural e não-estrutural na indústria automotiva. A indústria automotiva europeia se destaca neste ramo, principalmente a Alemanha, que trabalha no intuito de produzir veículos com todos os componentes recicláveis ou biodegradáveis. Além dos aspectos “ecológicos”, o principal incentivo para a utilização destes compósitos é a redução de custo e peso dos veículos. Uma importante característica destes materiais é a capacidade de fraturar sob impacto sem soltar lascas. Outras vantagens são: estabilidade dimensional e resistência às intempéries ambientais (SILVA, 2003).

3.2. MATRIZ POLIMÉRICA

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 limitada 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 (LEVY NETO e PARDINI, 2006).

3.2.1. Matriz Poliéster

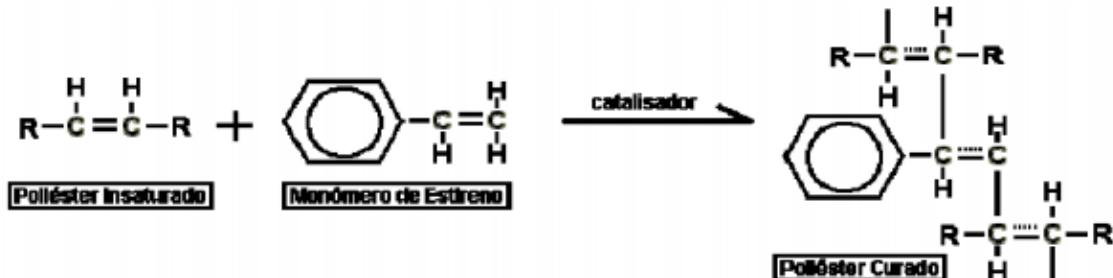
As resinas de poliéster são uma família de polímeros formados da reação de ácidos orgânicos dicarboxílicos (anidro maleico ou ftálico) e glicóis, que, quando reagidos, dão origem a moléculas de cadeias longas lineares. O tipo de ácido influencia as propriedades finais da resina e poliéster ortoftálicas e tereftálicas podem ser produzidas. Se um ou ambos constituintes principais são insaturados, ou seja, contêm uma ligação dupla reativa entre átomos de carbono, a resina resultante é insaturada (SILVA, 2010).

Como há um grande número de ácidos e glicóis disponíveis, há possibilidade de se obter grande número de resinas. Os mais comuns são: ácidos saturados (ácido ortoftálico e isoftálico), que são mais tenazes; ácidos insaturados (ácido maléico), possuindo muitas ligações duplas; e glicóis (etileno-glicol e propileno-glicol) que afetam a tenacidade do polímero curado (LEVY NETO e PARDINI, 2006).

Os poliésteres saturados são obtidos pela reação entre um diol e um diácido saturado, resultando num produto termoplástico, cuja cadeia molecular é composta apenas por ligações simples entre átomos de carbono. Possuem moléculas longas e lineares, e não são sujeitos a reações de reticulação, podendo ser encontrados em forma de fibras ou filmes (NÓBREGA, 2007).

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 vinílico polimeriza formando “pontes” entre as cadeias do pré-polímero se solidificam formando uma estrutura termofixa irreversível, reticulada e infusível (NÓBREGA, 2007). Como mostra a Figura 4, de um poliéster curado.

Figura 4 - Macromolécula de um poliéster curado.



Fonte: SILVA, (2013).

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 (LEVY NETO e PARDINI, 2006).

Para a cura de resinas vinil éster, os iniciadores utilizados geralmente são peróxidos orgânicos e hidroperóxidos, incluindo peróxido de metil etil cetona, peróxido de benzoila e hidroperóxido de cumeno. Porém, a cura de

uma resina poliéster insaturada, como são classificadas as resinas vinil éster, em temperatura ambiente pode não ser realizada por um peróxido orgânico sozinho, a rápida decomposição dos iniciadores pode ocorrer por aquecimento ou pelo uso de promotores, tais como aminas terciárias e sais de metais como octoato ou naftanato de cobalto, ou seja, para que o peróxido desempenhe suas funções, é necessário um promotor de cura ou acelerador que promova a sua decomposição. O peróxido e metil-etil-cetona decompõe-se na presença de octoato de cobalto ou naftanato cobalto. Essa combinação do peróxido com seu respectivo acelerador são chamados de sistema de polimerização (ARAÚJO NETO, 2010).

3.3. FIBRAS NATURAIS

3.3.1. Fibras de Pente de Macaco

A espécie botânica *Apeiba tibourbou* Aubl é encontrada na América Central e região do cerrado e do norte Brasileiro, conhecida como pau-de-jangada ou pente-de-macaco. É uma árvore que atinge cerca de 10 a 15 m de altura com grandes folhas simples, alternas e estipuladas. Seu período de floração é extenso, encontrando na mesma árvore botões florais até frutos maduros. As inflorescências paniculiformes são utilizadas na arborização e ornamentação de praças e avenidas, principalmente devido à beleza de suas folhas (MATOS *et al.*; 2008) e também pela exuberância de seus frutos.

É completamente desconhecida quanto aos seus efeitos tóxicos, mas é empregada popularmente na América Central para tratamento de reumatismo, bem como antiespasmódica, propriedades mucilaginosas e peitoral, além de estudos sobre sua composição química com a presença de ácido rosmarínico (LASURE *et al.*; 1994), que provavelmente lhe confere tais propriedades. Como mostra a Figura 5.

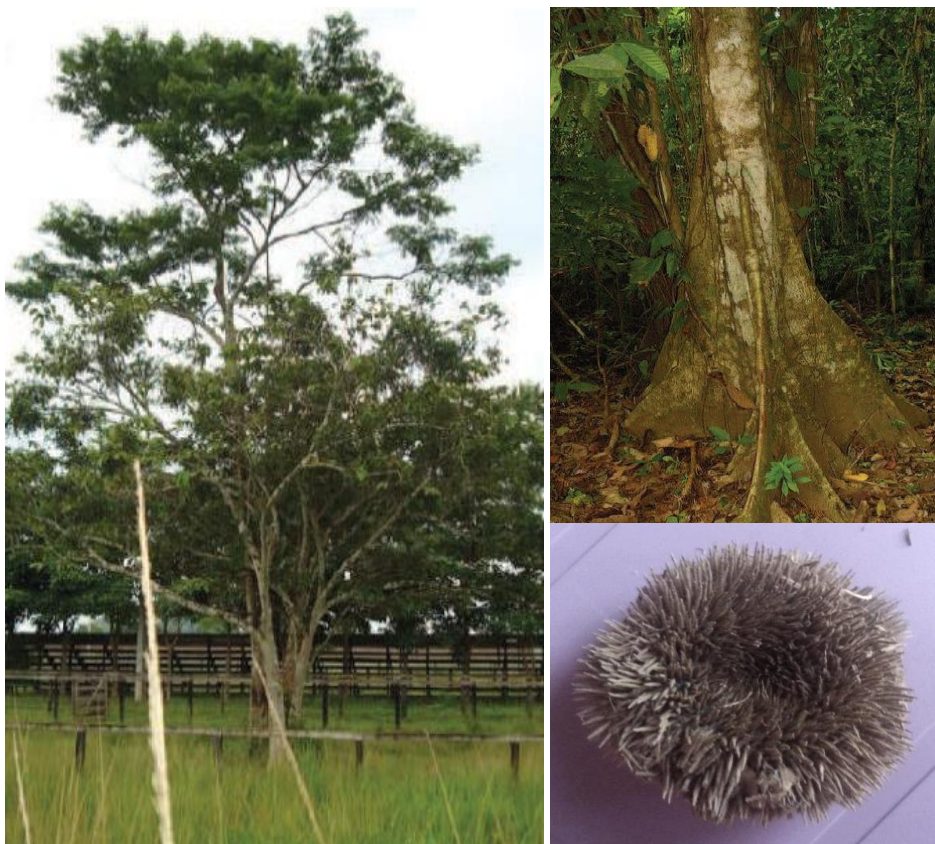
As descrições macroscópicas e microscópicas relacionados a essa árvore que é da família *Malvaceae* é listada segundo JUNIOR, 2013.

- Descrição macroscópica: Camadas de crescimento distintas sob lente de 10x, demarcadas pelo achatamento das fibras. Parênquima axial indistinto mesmo sob lente. Raios visíveis sob

lente de 10x, finos e numerosos, irregularmente espaçados; estratificação ausente. Vasos visíveis a olho nu; solitários e múltiplos; distribuição difusa; pequenos; pouco abundantes; desobstruídos; placa de perfuração simples.

- Descrição microscópica: Vasos solitários e múltiplos de até 10. Distribuição difusa; pouco abundantes (12-14 mm²); pequenos e médios (64-108 um de diâmetro); desobstruídos; pontoações intervasculares pequenas; alternas; contorno poligonal. Fibras libriiformes, de parede delgada, lume espesso e pontoações simples. Parênquima axial indistinto. Raios heterocelulares, formados por células quadradas, eretas e procumbentes misturadas ao longo do corpo dos raios, uniseriados e multiseriados.

Figura 5 - Árvore e características do caule e do fruto do Pente de Macaco (Apeiba Tibourbou).



Fonte: RODRIGUES, (2013); Autor, (2016).

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.

3.3.2. Fibras de Mutamba

A *Guazuma ulmifolia*, conhecida como *Mutamba* a árvore é perenifólia (no qual as folhas caem depois de uma seca prolongada). As árvores maiores atingem dimensões próximas de 30 m de altura e 60 cm de DAP (diâmetro à altura do peito, medido a 1,30 m do solo), na idade adulta. O Tronco é reto e levemente tortuoso, curto, frequentemente ramificado a baixa altura. Fuste com até 12 m de comprimento. Sua casca tem espessura de até 12 mm. A superfície da casca externa é grisácea a café-escuro, acanalada, áspera, agrietada longitudinalmente, se desprende facilmente em placas retangulares ou em tiras. A casca interna é fibrosa, rosada, com estrias brancas. Suas folhas são de filotaxia alterna, simples, ovalada ou lanceolada.

A *Mutamba* apresenta ampla dispersão pela América tropical, nas Antilhas (exceto as Bahamas), Cuba México, em Honduras. No Brasil, essa espécie ocorre nas seguintes Unidades da Federação: Acre, Alagoas, Amazonas, Bahia, Ceará, Distrito Federal, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Pará, Paraíba e Paraná (CARVALHO, 2007).

A espécie tem uma importância sociológica com a característica das formações secundárias e capoeiras abertas. Cresce em lugares abertos, margens de arroios e rios, florestas exploradas e ambientes alterados. Por isso, tem sido classificada como espécie invasora e indesejável. É rara na floresta primária. Sua dispersão é ampla, mas irregular e descontínua. Árvore comum nas orlas de cerradão e mesmo no Pantanal ou à margem de pequenos cursos d'água (CARVALHO, 2007).

As Características da Madeira apresentam uma Massa específica aparente (densidade) moderadamente densa (0,50 g.cm⁻³ a 0,68 g.cm⁻³). Apesar da cor de madeira branco-amarelada a bege-rosada, com algumas linhas mais escuras, com ligeira diferença entre alburno e cerne; o alburno é marrom-claro e o cerne é marrom-rosado. Apresenta algumas características gerais como odor e sabor ligeiramente característicos; grã entrecruzada; textura fina a mediana; brilho mediano, com veteado suave. Possui uma durabilidade natural devido a madeira ser muito susceptível ao ataque de cupins e das térmitas de madeira seca e pouco durável. Contudo, é de boa durabilidade quando protegida da chuva e da umidade. Um destaque para as fibras desta árvore onde a casca dessa planta produz líber fibroso resistente, de elevada qualidade e de largo emprego na cordoaria e na a fabricação de tecidos (CARVALHO, 2007). Como mostra a Figura 6.

Figura 6 - Características da Árvore e do Tronco da Mutamba (Guazuma ulmifolia).



Fonte: Autor, (2016).

3.3.3. Fibras de Pindaíba

A pindaíba é árvore notavelmente ornamental, que pode chegar a 30 metros de altura ela pertence a família *Annonaceae* da Espécie *Guatteria Poeppigiana*. Ela é encontrada com maior frequência nas planícies litorâneas, em solos rasos e de rápida drenagem, e com menor frequência em solos arenosos e profundos. Seu tronco é reto e bem cilíndrico, com casca externa lisa e de coloração avermelhada a cinzento-escuro. As folhas são simples, alternas, com pecíolos curtos, coriáceas e descolores. As flores são hermafroditas brancas e os frutos são baga-ovoide, deiscente, glabra de cor avermelhada. Sua madeira é apropriada para caixotaria, construção civil, marcenaria e cabos de ferramentas (CARVALHO, 2006). A Figura 7 mostra as características da Pindaíba.

Figura 7 - Característica da árvore e do tronco de Pindaíba (*Guatteria Poeppigiana*).



Fonte: Autor, (2016).

Os usos específicos dos produtos madeireiros da Pindaíba são os de: Cabo de ferramentas, caixotaria, tamancos, caibros, tabuados, vigas, construção naval, carpintaria e marcenaria; As utilizações dos produtos não madeireiros se destacam: A alimentação humana, o uso de cordas, recursos para fauna e ornamental (LORENZI, 1998).

3.4. 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 (LEVY NETO e PARDINI, 2006).

Ainda de acordo com Levy Neto e Pardini (2006) os processos de fabricação correspondem a 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:

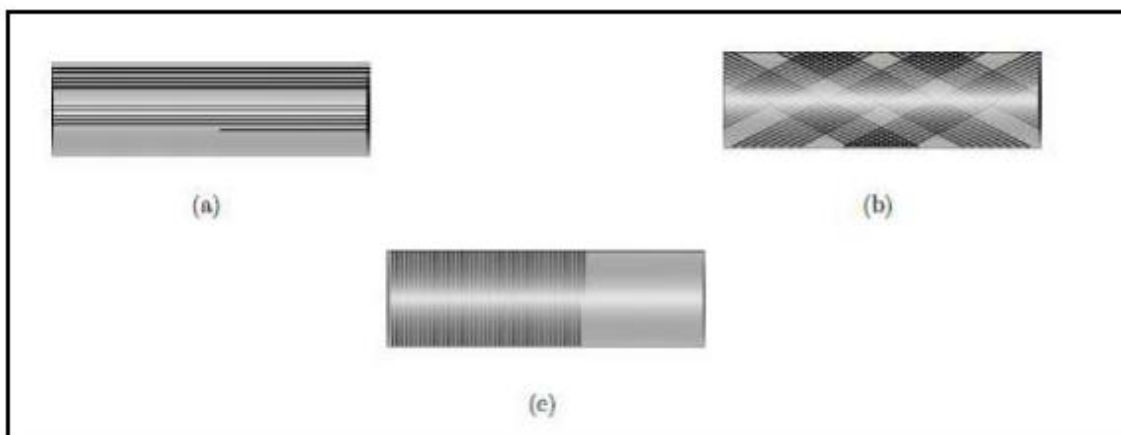
Laminação manual ou *hand lay-up* se caracteriza por ser um método simples de confecção de um compósito, não envolvendo nenhum investimento em equipamentos. A laminação consiste em sobrepor camadas de tecidos, mantas ou fibras, intercalando-as com uma resina (LEVY NETO e PARDINI, 2006).

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) e 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). A Figura 8 apresenta esses padrões de enrolamento.

Figura 8 - Padrões de enrolamento da fibra sobre o mandril: a) polar, b) helicoidal e c) circunferencial.



Fonte: SILVA, (2014).

3.5. NORMAS DE ENSAIO DE TRAÇÃO E IMPACTO DE MATERIAIS COMPÓSITOS

3.5.1. 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).

3.5.2 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:

$$a_{cU} = \frac{W}{h \times b} \times 10^3 \quad (1)$$

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.

3.6. 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 em 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 à 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. Verifica-se 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)

Segundo 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). Como mostra a Figura 9.

Figura 9 - Fragmentação por corte.



Fonte: 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 Metil-Etil-Cetona (MEK – D45). Fabricados e comercializados pela empresa CENTERGLASS Resinas e Fibras de vidro LTDA. O catalisador MEK-D45 foi utilizado na proporção 1 % (v/v), segundo Oliveira (2013), o mesmo conferiu boa trabalhabilidade e resistência aos compósitos fabricados. A Figura 10 mostra a Resina e o Catalisador utilizado.

Figura 10 - a) Resina Poliéster Isoftálica; b) Catalisador MEK - D45.



Fonte: Autor, (2016).

4.1.2 Fibras vegetais de Pente de Macaco, Mutamba e Pindaíba.

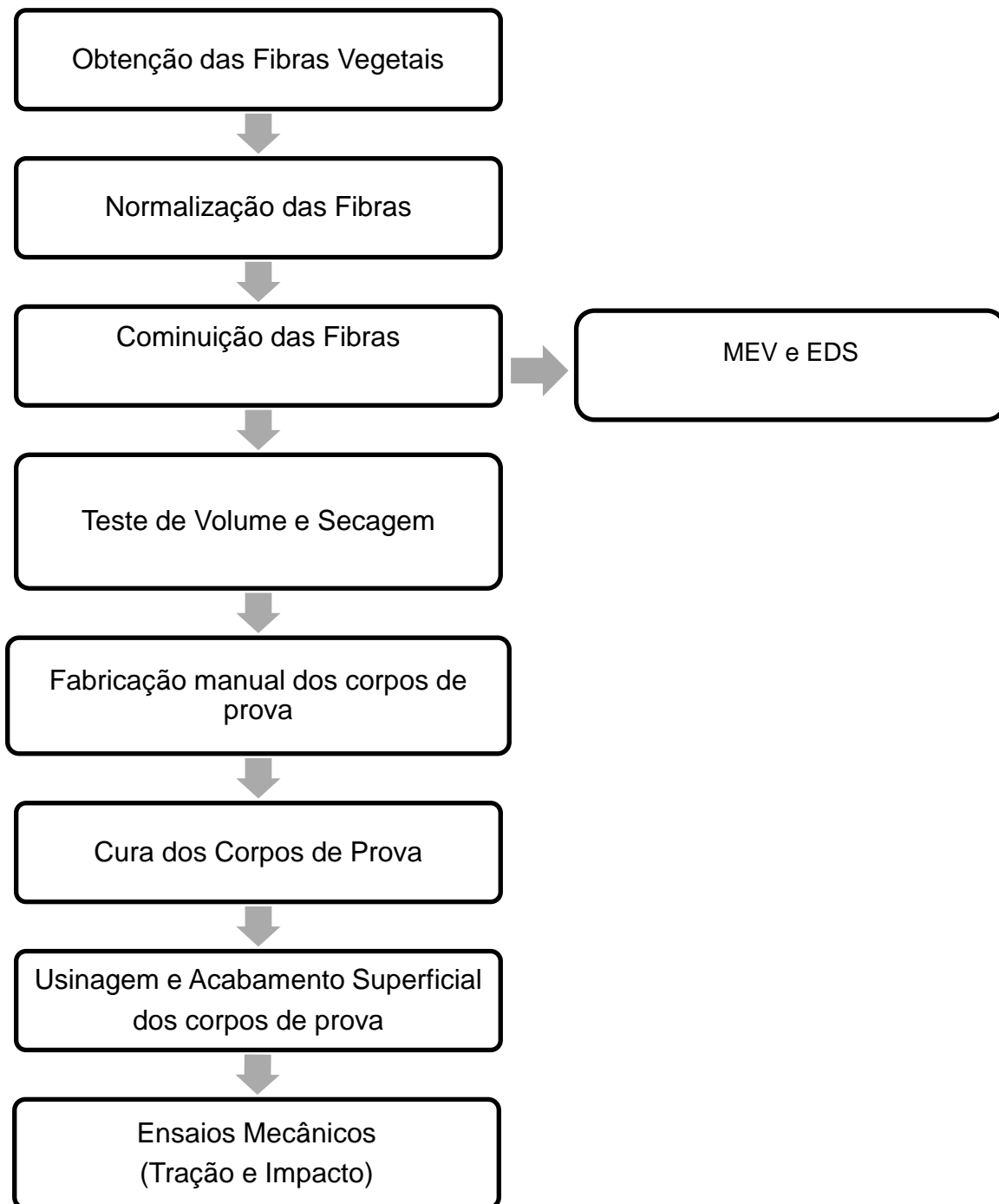
As fibras foram extraídas na região de Marabá, com a ajuda de um guia para o reconhecimento das árvores com nomes comuns de Pente de Macaco,

Mutamba e Pindaíba. A extração da casca do caule dessas árvores foi realizada. A pindaíba é proveniente da Vila Monte Castelo, Km 54, as margens da rodovia Transamazônica e Pente de Macaco e Mutamba provenientes do km 64 na rodovia Transamazônica. As fibras foram escolhidas para o desenvolvimento do presente trabalho devido às 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 11 descreve de forma sucinta a metodologia empregada para fabricação dos compósitos estudados.

Figura 11 - Fluxograma da metodologia empregada para caracterização mecânica dos compósitos fabricados.



Fonte: Autor, (2016).

4.2.1. Obtenção das Fibras Vegetais de Mutamba, Pente de Macaco e Pindaíba

A extração das fibras foi realizada do caule das árvores, as mesmas foram mantidas submersas em água, sendo que o pente de macaco foi mantido submerso em água por 12 dias para a extração da fibra, a Mutamba ficou mergulhada em água por 12 dias e a Pindaíba por 2 dias. Passado esse período foi observado que as cascas estavam ideais para a extração de suas fibras. Como mostra a Figura 12.

Figura 12 - Obtenção das Fibras. a) Extração da Fibra da Casca; b) Submersão das Fibras em água; c) Normalização das Fibras; d) Fibras Secas.



Fonte: Autor, (2016).

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. É importante enfatizar que devido à pindaíba apresentar uma característica mais rígida, foi necessário realizar uma raspagem da fibra para diminuir sua espessura com a ajuda de tesouras e facas. Para uma melhor normalização foi necessário que as fibras fossem antes mergulhadas em água por no mínimo 2 horas, depois foi necessário realizar a normalização com elas ainda mergulhadas.

Depois da normalização das fibras foi necessário que as mesmas passem por uma secagem 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 Mutamba, Pente de Macaco e Pindaíba

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. 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 laminas, no qual existem as laminas fixas e as laminas moveis, o processo de corte foi realizado devido as laminas estarem posicionadas de lados opostos. No fundo do moinho foi instalada uma peneira que faz a separação das fibras já cominuidas para o recipiente de deposição. Como pode ser observado na Figura 13.

Figura 13 - Moinho de Facas utilizado para a cominuição das fibras.



Fonte: Autor, (2016).

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 HITACHI (modelo Tm 3000). Segundo a Figura 14.

Figura 14 - Equipamento para MEV de bancada da marca HITACHI (modelo TM).



Fonte: Autor, (2016).

Foram coletadas amostras de toda a região das cargas obtidas das fibras cominuidas, onde as imagens foram capturadas por elétrons retroespalhados 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. Sua capacidade 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 por EDS foi utilizada no estudo de caracterização microscópica de materiais. A técnica é realizada quando o feixe de elétrons incide sobre o material.

A análise foi realizada para observar detalhes da região das fibras através de espectroscopia de energia dispersiva (EDS), marca Hitachi, modelo Oxford, para identificar fases presentes. Este equipamento pode ser visto na Figura 15.

Figura 15 - Equipamento para análise de Espectrografia de raios-x por dispersão de Energia (EDS)

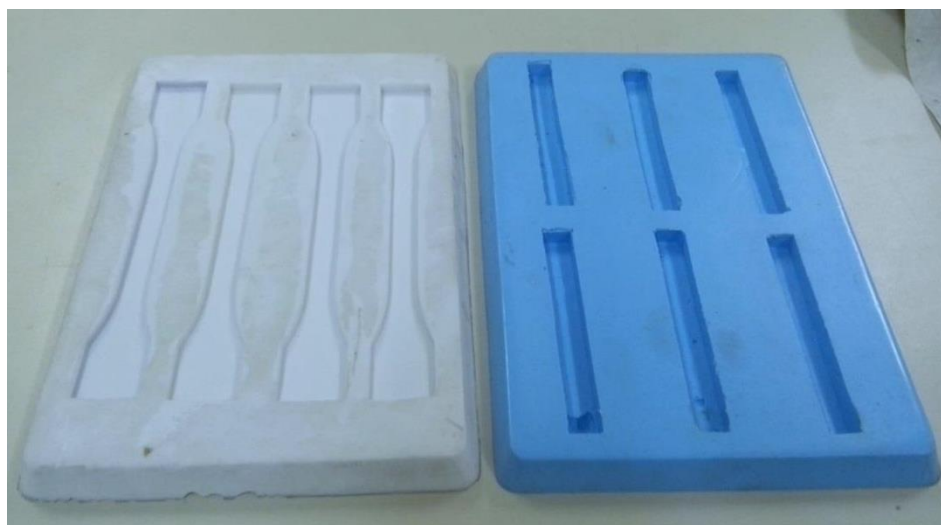


Fonte: Autor, (2016).

4.2.5. Fabricação dos Corpos de Prova com Fibras Vegetais de Mutamba, Pente de Macaco e Pindaíba

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 com adição da resina poliéster e o catalisador. As quantidades de resina, catalisador e reforço foram previamente pesadas e misturadas até se encontrar homogênea, em torno de 5 minutos, e logo depois é vazada no molde de silicone. A Figura 16 mostra as características do molde de silicone para tração e impacto.

Figura 16 - Moldes de Silicone para a fabricação dos compósitos, tração e impacto respectivamente.



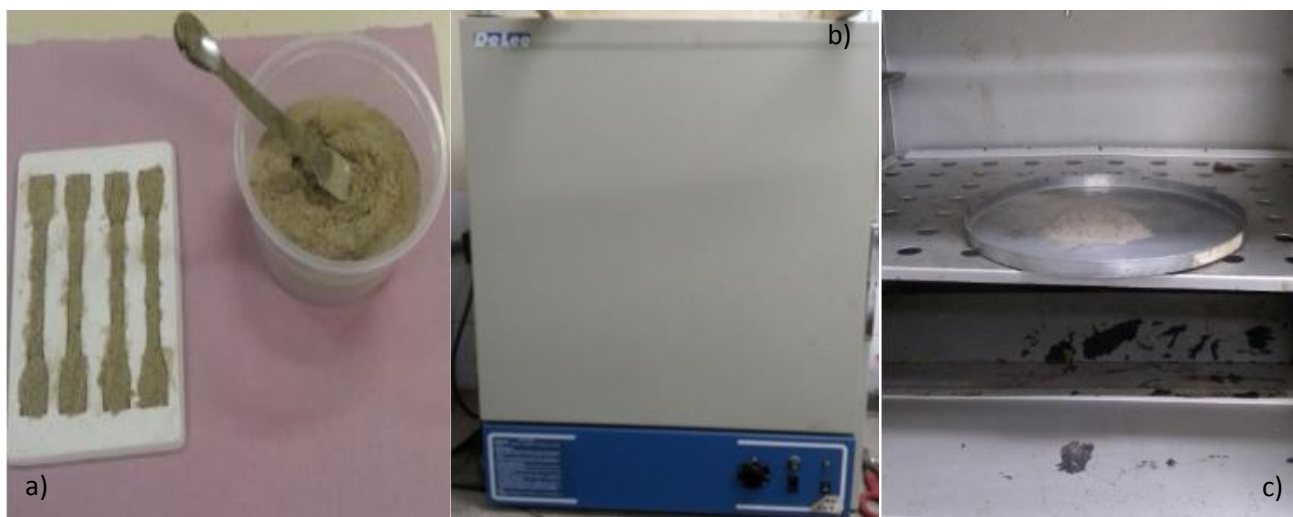
Fonte: Autor, (2016).

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 foi realizada com o preenchimento até a capacidade volumétrica máxima do reforço empregado, em seguida foi pesado e assim foi 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 17 mostra a determinação do volume máximo de reforço e a secagem das cargas na estufa.

Depois de determinada a fração mássica as cargas foram levadas a estufa para retirada de umidade em uma temperatura em torno de 75°C por 10 minutos. Assim é possível determinar o teor de umidade presente nas fibras, onde é calculado através da razão entre a massa antes da secagem e a massa depois da secagem. A figura 17 mostra o processo de secagem das cargas, a Estufa utilizada é da marca DeLeo Equipamentos para laboratórios LTDA.

Figura 17 – a) Teste de Volume; b) Estufa utilizada no procedimento; c) Secagem das cargas na Estufa.



Fonte: Autor, (2016).

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 Pente de Macaco, Mutamba e Pindaíba. 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 18 mostra a confecção dos corpos de prova de tração e impacto.

Figura 18 - Fabricação dos corpos de prova de tração e impacto respectivamente.

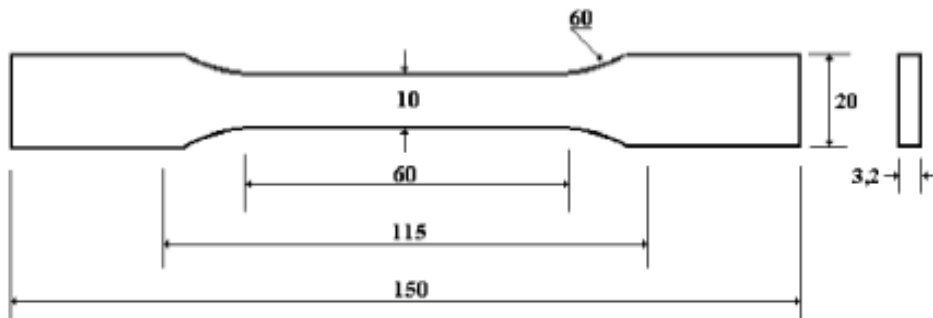


Fonte: Autor, (2016).

4.2.5. Ensaio de Tração dos Materiais Compósitos com Fibras Vegetais de Mutamba, Pente de Macaco e Pindaíba

O ensaio de tração foi realizado segundo a norma ASTM D638M e seguiram as medidas de fabricação demonstradas na Figura 19.

Figura 19 - 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 12 para os ensaios com matriz reforçada com cargas de

Pente de Macaco, Mutamba e Pindaíba. 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 20 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 20 - Máquina universal de ensaios EMIC, modelo DL - 10.000.



Fonte: Autor, (2016).

4.2.6. Ensaio de tenacidade ao impacto Charpy dos Materiais Compósitos com Fibras Vegetais de Mutamba, Pente de Macaco e Pindaíba

O ensaio de tenacidade ao impacto Charpy foi realizado segundo a norma ASTM D5942, com as dimensões mostradas esquematicamente na Figura 21.

Figura 21 - 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 12 para os ensaios com matriz reforçada com cargas de Pente de Macaco, Mutamba e Pindaíba. 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 22 mostra a máquina de ensaio de tenacidade ao impacto Charpy, modelo JB – 300B Charpy.

Figura 22 - Máquina semiautomática de tenacidade ao impacto, modelo JB - 300B Charpy.



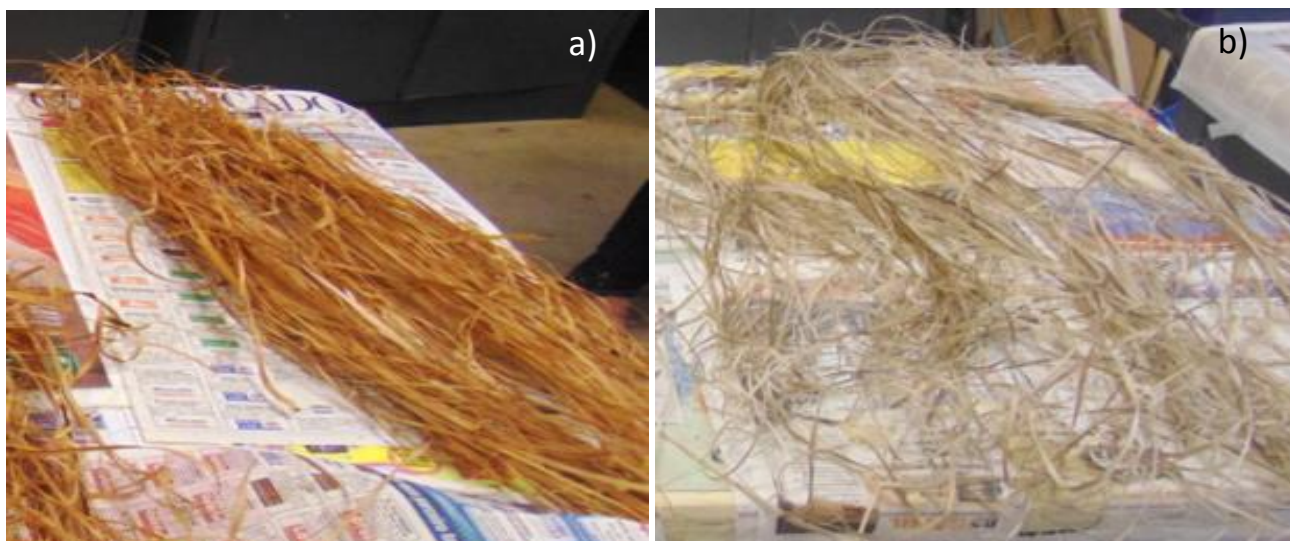
Fonte: Autor, (2016).

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. OBTENÇÃO DAS FIBRAS VEGETAIS DE MUTAMBA, PENTE DE MACACO E PINDAIBA

As etapas de obtenção das fibras foram descritas no item 4.2.1. Após a etapa de normalização das fibras as mesmas foram separadas para a sua cominuição em moinho de facas. Esta normalização das fibras ajuda no processo de cominuição, pois o equipamento trabalha com mais eficiência com materiais de pequena seção transversal. A Figura 23 mostra algumas fibras normalizadas, segundo a seção transversal, que foram utilizadas no trabalho.

Figura 23 - Fibras normalizadas para o processo de cominuição. a) Mutamba e b) Pente de Macaco



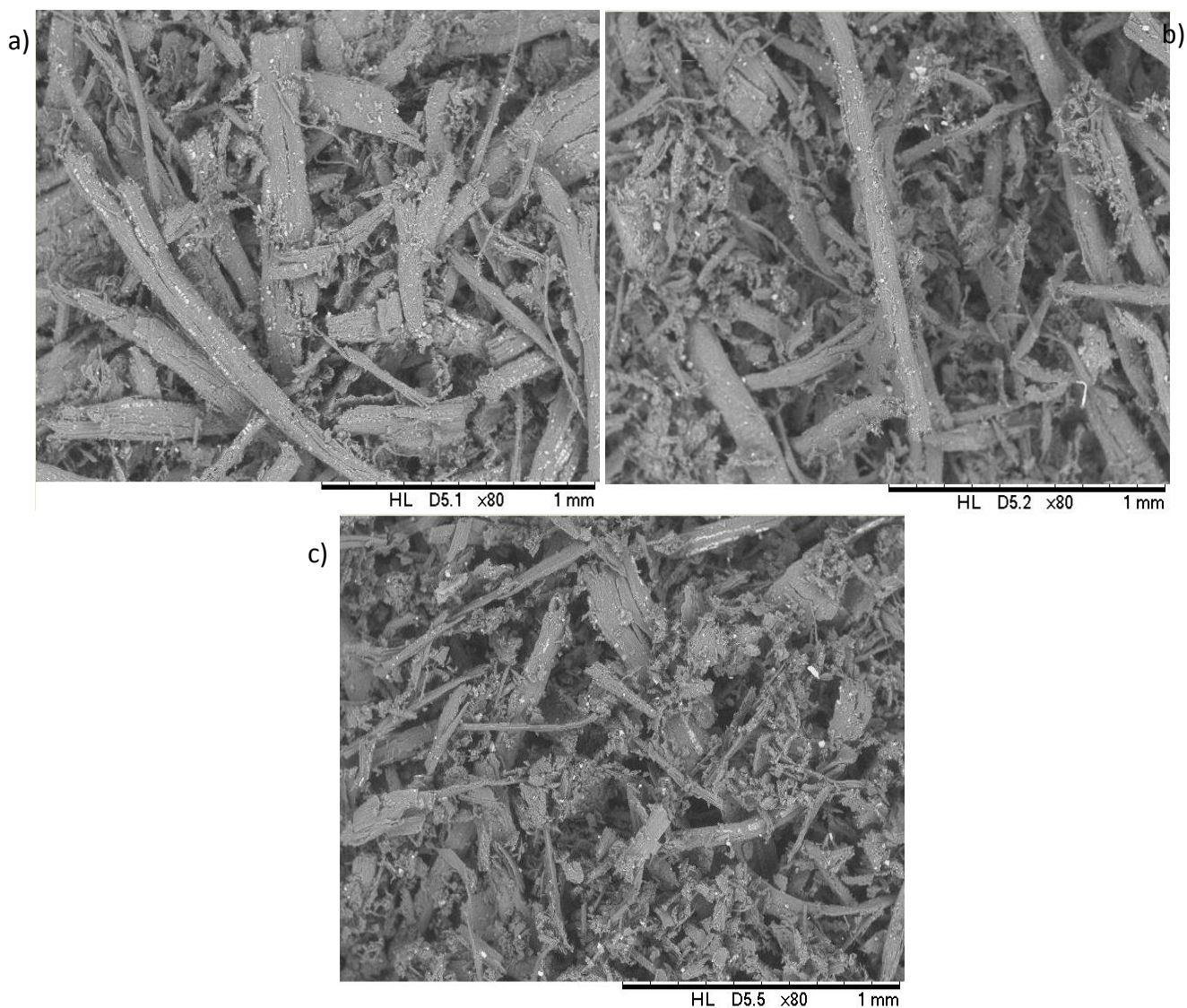
Fonte: Autor, (2016).

5.2. 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 24 e 25 mostram que a morfologia

das fibras de Mutamba, Pente de Macaco e Pindaíba é composta por um misto de fibras e partículas. As micrografias apresentavam heterogeneidade no tamanho e forma das partículas, apresentando nas cargas até partículas nanométricas.

Figura 24 - Morfologia das cargas de (a) Mutamba; (b) Pente de Macaco e (c) Pindaíba. Aumento de 80x.



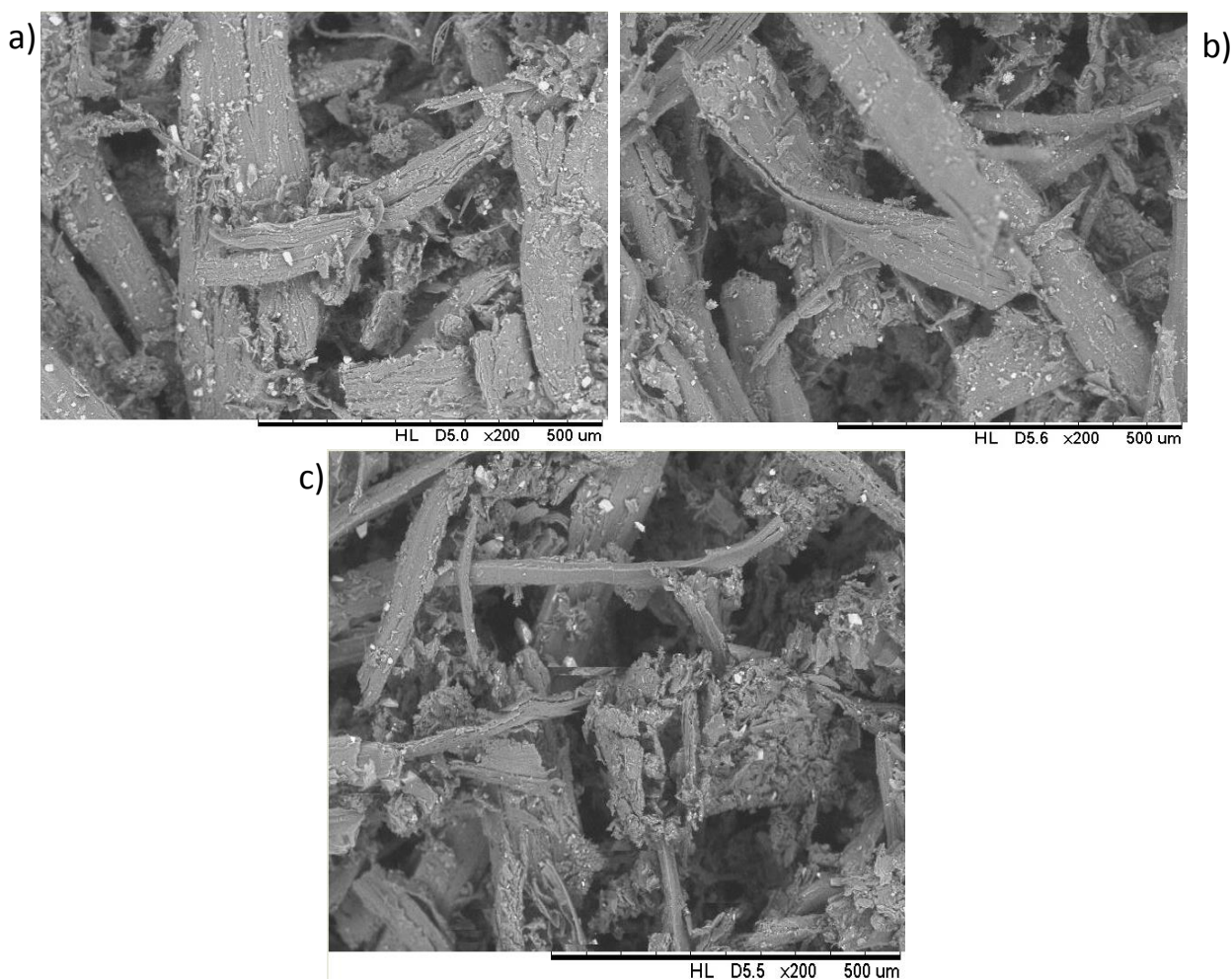
Fonte: Autor, (2016).

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 foi adicionado aos

compósitos fabricados, os pós que aparecem nas imagens são fragmentos 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 Pente de Macaco. Estes 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. A presença de fibrilas também pode ajudar na resistência mecânica, pois as mesmas podem resistir individualmente a solicitações mecânicas como estudado por Rodrigues (2013). Esse tipo de fibrilas é comum em todas as cargas utilizadas no trabalho, porém é possível observar um grande número dessas fibrilas na carga de Mutamba.

Figura 25 - Morfologia das cargas de (a) Mutamba; (b) Pente de Macaco e (c) Pindaíba. Aumento de 200x.



Fonte: Autor, (2016).

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 Pindaíba apresentam uma maior rugosidade, isso pode ser devido ao fato de que as fibras de Pindaíba são mais densas que as demais, e durante a cominuição isso pode ter favorecido o aparecimento de superfícies rugosas.

Foram realizadas as análises com amostras das fibras de Pente de Macaco, Pindaíba e Mutamba. A Tabela 3 mostra os percentuais dos elementos encontrados nas fibras.

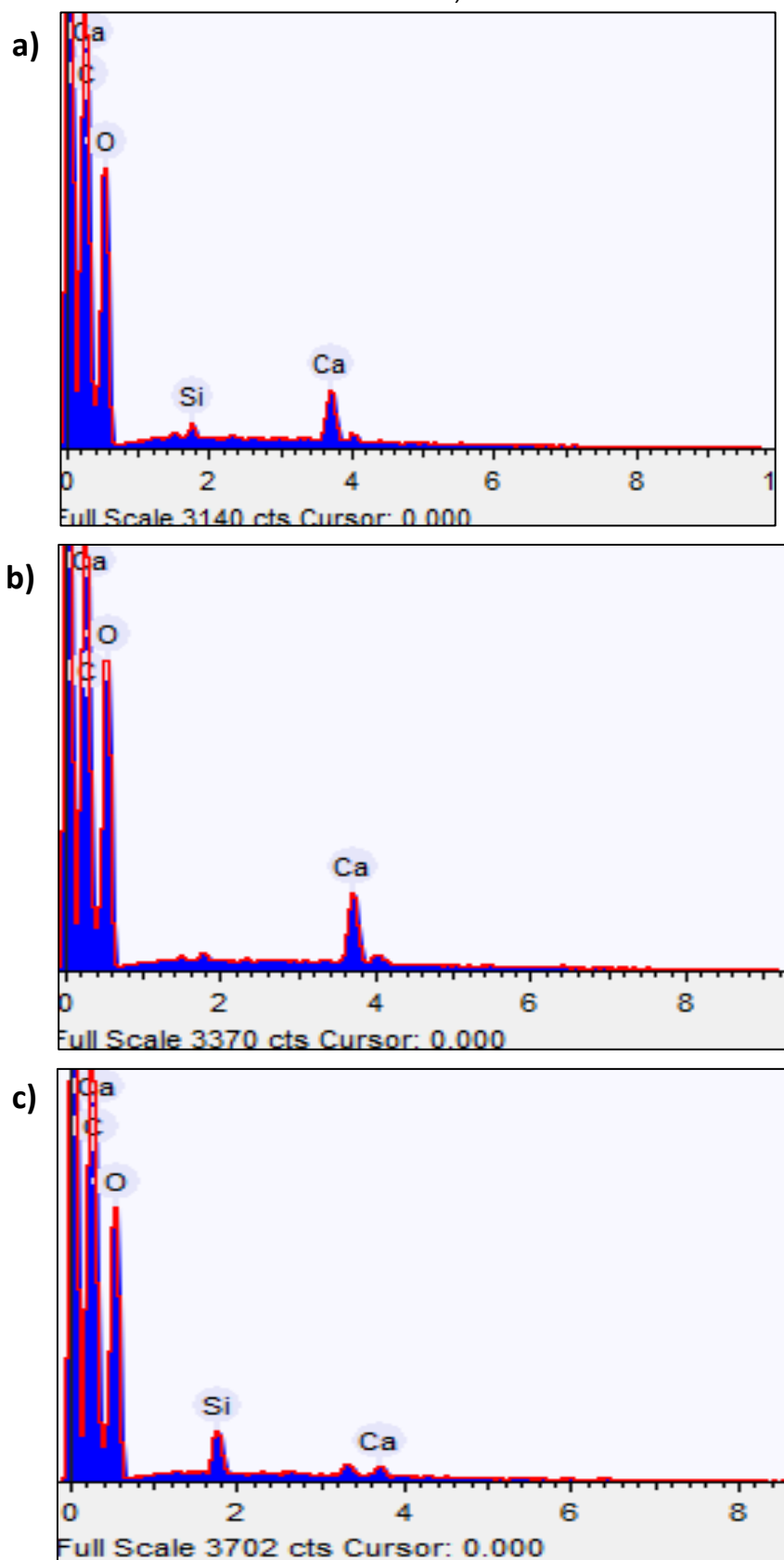
Tabela 3 - Percentuais de cada elemento da análise para as cargas de Mutamba, Pente de Macaco e pindaíba.

	Carbono (%)	Oxigênio (%)	Silício (%)	Cálcio (%)
Mutamba	42.963 ± 0.507	52.915 ± 0.508	0.445 ± 0.049	3.677 ± 0.109
Pente de Macaco	40.286 ± 0.461	54.976 ± 0.463	-	4.739 ± 0.112
Pindaíba	46.286 ± 0.468	51.500 ± 0.468	1.555 ± 0.058	0.659 ± 0.062

Fonte: Autor, (2016).

Os elementos químicos que foram encontrados no EDS fazem parte da nutrição das árvores, e são absorvidos pela atmosfera ou pelo solo, além de fazerem 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 Silício é o segundo elemento mais abundante da crosta terrestre, apresentando importante papel no crescimento e resistência mecânica das plantas. A Figura 26 mostra os espectros gerados nas análises de cada fibra.

Figura 26 – Espectrografia do EDS para as fibras de: a) Fibra de Mutamba; b) Pente de Macaco e c) Pindaíba.

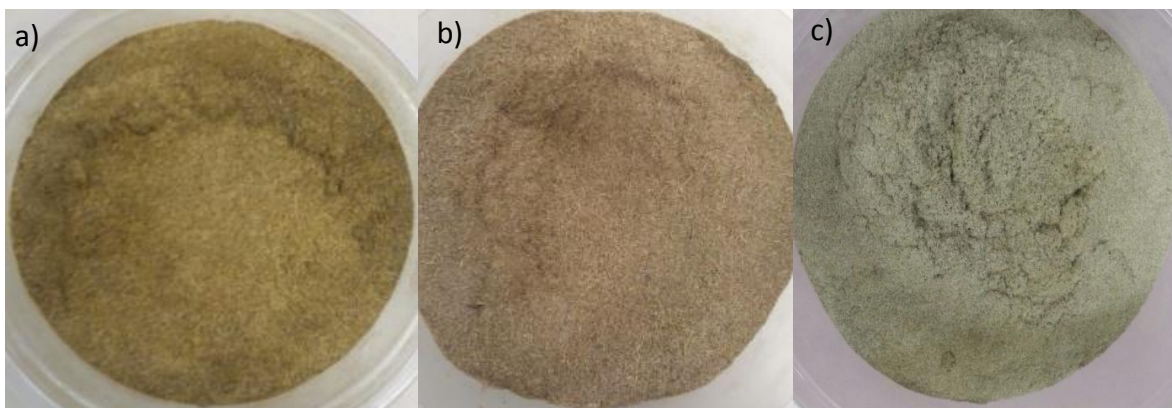


Fonte: Autor, (2017).

5.3. COMINUIÇÃO DAS FIBRAS VEGETAIS DE MUTAMBA, PENTE DE MACACO E PINDAIBA

Pelo processo de cominuição por moinho de facas foram obtidas as cargas utilizadas na fabricação dos corpos de prova, as cargas apresentaram 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 29.

Figura 27 - Cargas obtidas através do processo de cominuição. a) Pindaíba; b) Mutamba; c) Pente de Macaco.



Fonte: Autor, (2016).

A análise das cargas das fibras como mostrada na micrografia no item 5.2, 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.

5.4. FABRICAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA COM FIBRAS VEGETAIS DE MUTAMBA, PENTE DE MACACO E PINDAÍBA

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, conforme descrito no item 4.2.5. As frações mássicas dos reforços empregados foram calculadas; onde se define como a capacidade volumétrica do molde em acomodar o reforço sem a utilização de pressão. Esse procedimento foi 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
Mutamba	Carga	10,84
	Resina	89,16
Pindaíba	Carga	10,84
	Resina	89,16
Pente de Macaco	Carga	8,43
	Resina	91,57

Fonte: Autor, (2016).

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

Reforço	Material	% Peso
Mutamba	Carga	12,49
	Resina	87,51
Pindaíba	Carga	13,51
	Resina	86,49
Pente de Macaco	Carga	11,85
	Resina	88,15

Fonte: Autor, (2016).

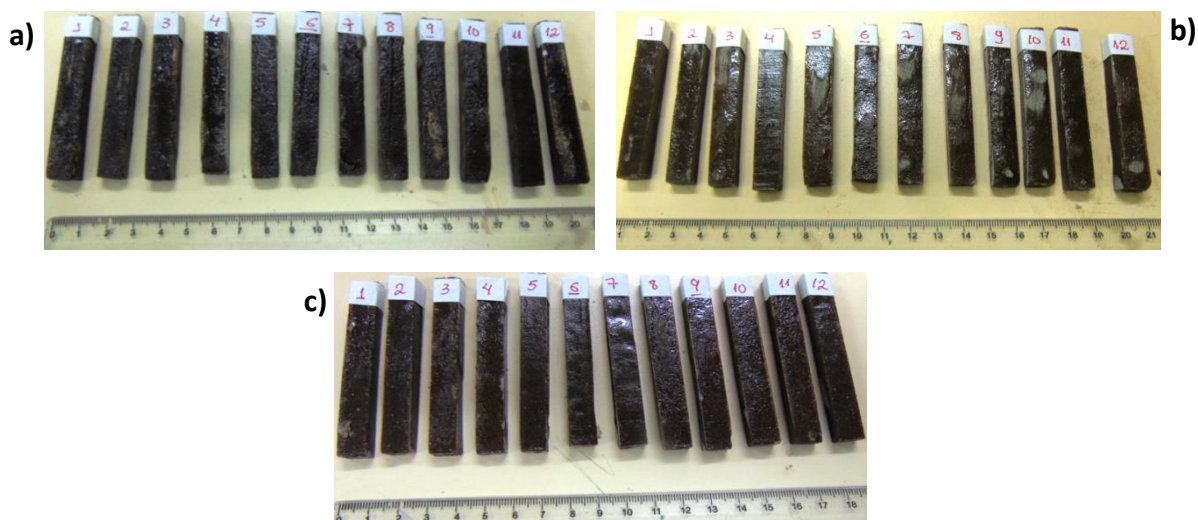
Os compósitos obtidos passaram por um processo de inspeção visual para visualizar algum tipo de defeito na superfície, depois foram lixados para retirada das rebarbas e passaram por um acabamento superficial para a realização dos ensaios de tração e impacto charpy. As Figuras 30 e 31 mostram os corpos 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. a) Mutamba; b) Pente de Macaco; c) Pindaíba.



Fonte: Autor, (2016).

Figura 29 - Corpos de prova de impacto charpy obtidos pelo processo de fabricação. a) Mutamba; b) Pente de Macaco; c) Pindaíba.



Fonte: Autor, (2016).

5.5. ENSAIO DE TRAÇÃO DOS MATERIAIS COMPÓSITOS COM FIBRAS VEGETAIS DE MUTAMBA, PENTE DE MACACO E PINDAIBA

A Tabela 6 e a Figura 32 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.

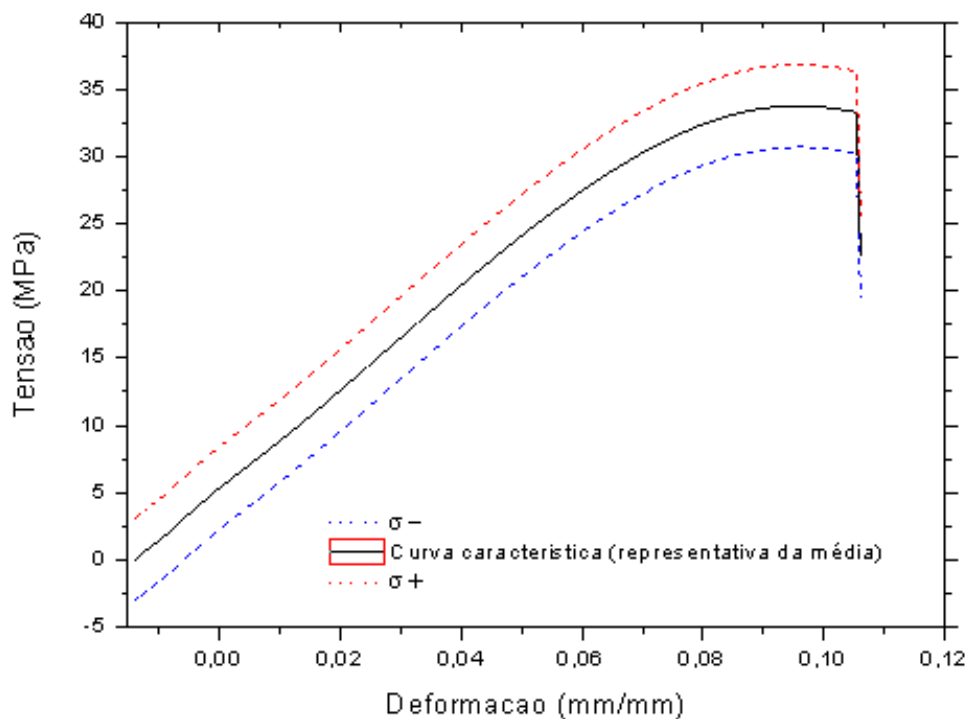
Tabela 6 - Resultados obtidos no ensaio de tração para os compósitos com desvio padrão.

	Força Máxima (N)	Deformação Máxima (mm/mm)	Tensão Máxima (Mpa)
Resina Pura	1506,8 ± 138	0,098 ± 0,014	33,48 ± 3,06
Mutamba	505,056 ± 87,98	0,048 ± 0,0098	15,783 ± 2,7496
Pente de Macaco	672,01 ± 96,6	0,05 ± 0,007	21,0 ± 3,019
Pindaíba	711,801 ± 88,87	0,059 ± 0,007	22,243 ± 2,77

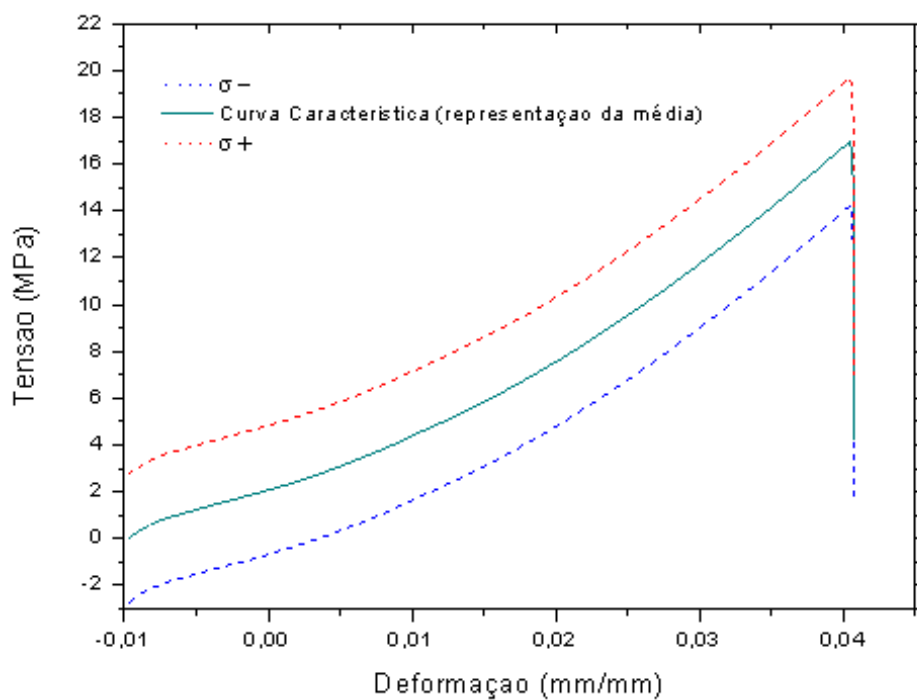
Fonte: Autor, (2016).

A tensão máxima (TM) dos compósitos medidos passou por uma análise, e observam-se que as cargas das fibras utilizadas no trabalho mostraram bons valores de resistência à tração, os mesmos podem ser utilizados em aplicações que não exijam grande solicitação mecânica de tração, com possibilidade de aplicação em diversas áreas. O compósito que apresentou a maior resistência foi o fabricado com cargas da fibra de Pindaíba, o mesmo apresentou valor médio de 22,243 MPa, o compósito de Mutamba apresentou o menor valor de tensão máxima considerando que o valor da Resina Pura foi de 33,48 MPa, essa diminuição é compatível com o que se encontra na literatura, já que reforços particulados podem atuar como pontos concentradores de tensão. A figura abaixo mostra as características das curvas Tensão – Deformação de cada série de compósitos ensaiados.

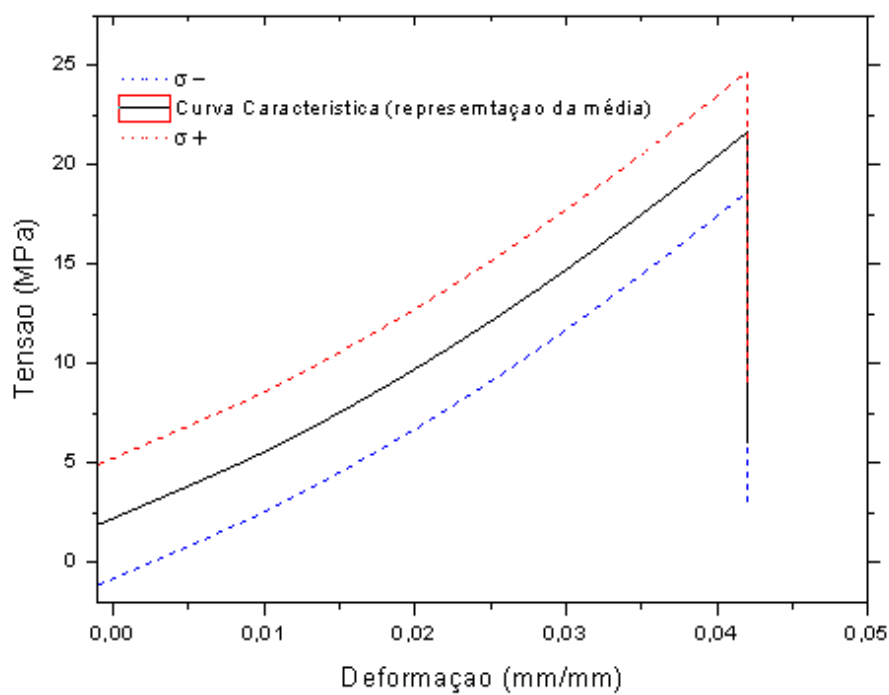
Figura 30 - Comportamento em ensaio de tração dos compósitos com cargas de a) Resina Pura; b) Mutamba; c) Pente de Macaco; d) Pindaíba e e) Gráfico de Barras para comparação entre as tensões entre as cargas utilizadas.



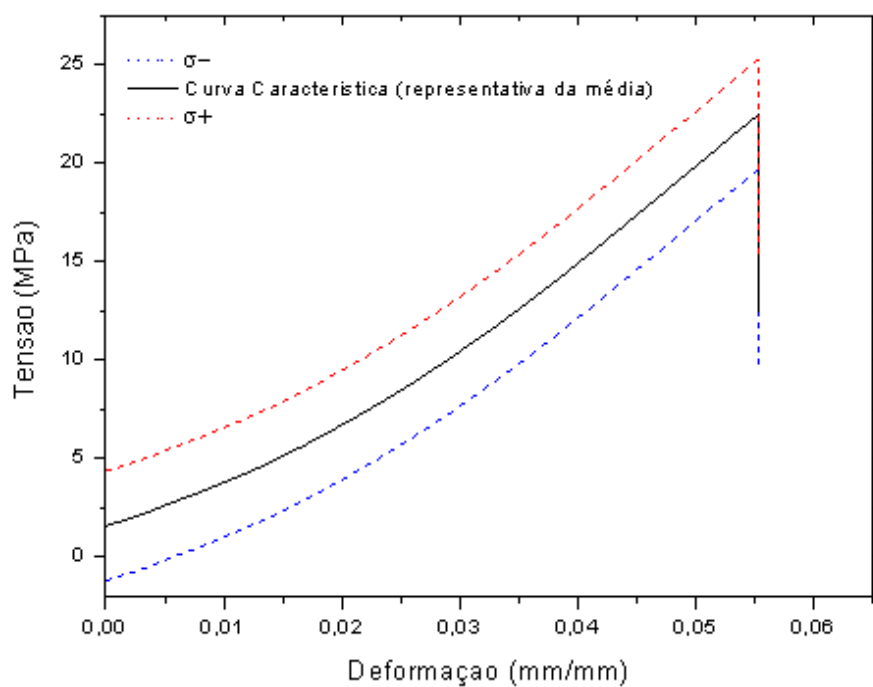
(a)



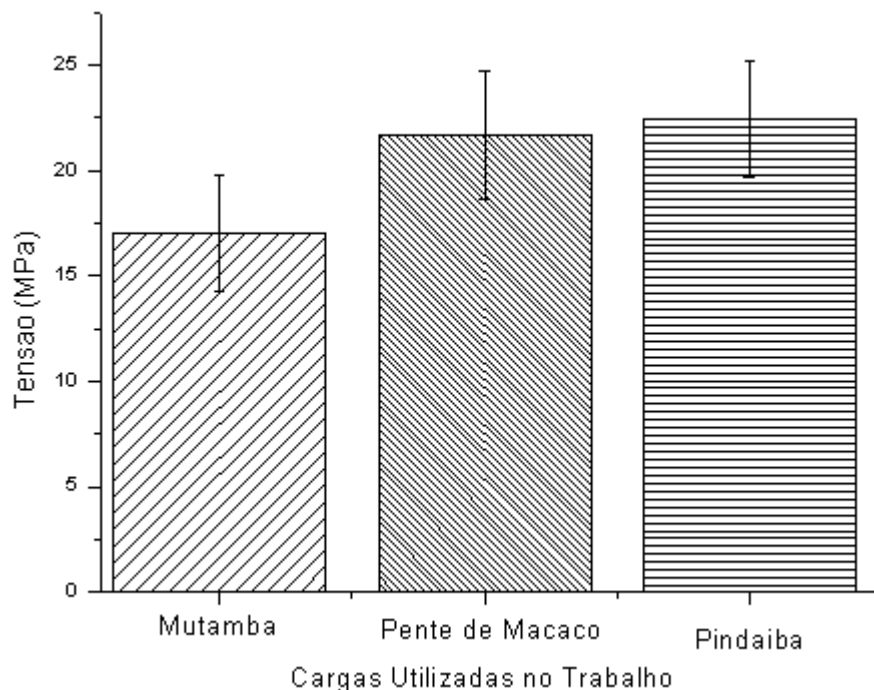
(b)



(c)



(d)



(e)

Fonte: Autor, (2016).

Como já discutido nos itens 5.2 e 5.3 os reforços com as cargas utilizadas na fabricação dos compósitos tiveram um valor de resistência de até 53% menor tomando em relação a carga de Mutamba com à resina pura; Houve uma diminuição de 37% em relação ao Pente de Macaco com a Resina Pura e a menor diminuição em relação a Pindaíba com a Resina Pura, que foi de 33,5%. A deformação dos compósitos reforçados com as cargas foi menor em relação à resina pura, devido às 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, existem também estudos de que fibras com alta razão de aspecto também contribuem para o aumento da resistência mecânica até certo limite, o problema são as partículas grosseiras que atuam como pontos de nucleação de trincas.

5.6. ENSAIO DE IMPACTO DOS MATERIAIS COMPÓSITOS COM FIBRAS VEGETAIS DE MUTAMBA, PENTE DE MACACO E PINDAÍBA

A Tabela 7 apresenta os valores de Resistência ao impacto (RI) para os corpos de prova dos compósitos reforçados com cargas de Pente de Macaco, Mutamba e Pindaíba. A Figura 33 mostra o comportamento assumido por esse parâmetro.

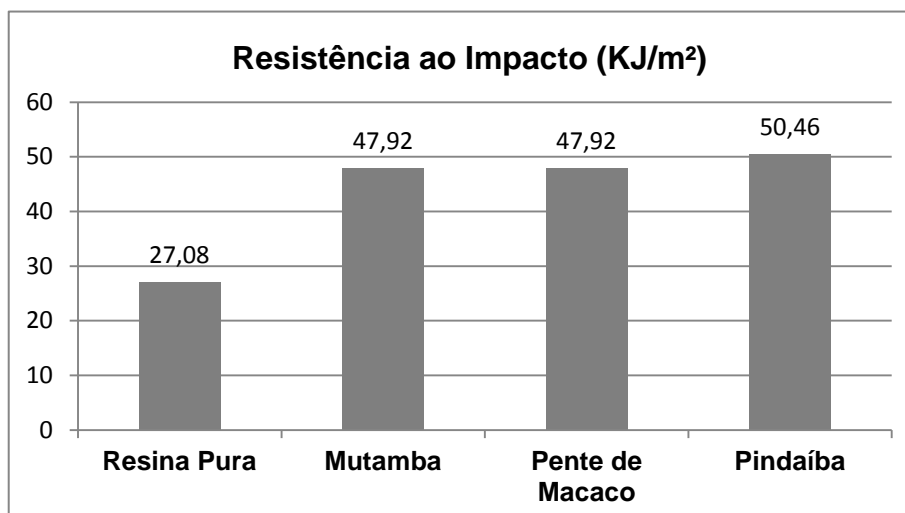
Tabela 7 - Resultados do ensaio de tenacidade ao impacto para os compósitos estudados.

Reforço	Resistência ao Impacto (kJ/m ²)
Resina Pura	27,08 ± 4,86
Mutamba	47,9167 ± 7,216
Pente de Macaco	47,9167 ± 7,216
Pindaíba	50,463 ± 1,603

Fonte: Autor, (2016)

Todos os corpos de prova testados apresentaram valores de RI satisfatórios, demonstrando que ocorre uma boa absorção de energia por parte das fibras. Observa-se que a resina pura obteve um resultado 46% menor em relação ao reforço que obteve melhor resultado que foi o de Pindaíba e também todos os reforços obtiveram resultados bem próximos. Como mostra a Figura 36.

Figura 31 - Comportamento do ensaio de tenacidade ao impacto charpy



Fonte: Autor, (2016).

Os resultados dos ensaios de impacto mostram que a utilização de cargas como reforço pode contribuir aos mecanismos de absorção de energia, contribuindo para um aumento da tenacidade do material. As cargas utilizadas foram bastante heterogêneas podendo conter fibras maiores que 2 mm e até partículas nanométricas, essas fibras maiores podem ter contribuído para o aumento da energia absorvida, causado principalmente pelo princípio do mecanismo de extração e deslocamento da interface fibra/matriz, como estudado por Silva (2003), que provocam a criação de uma maior área superficial de fratura dentro do compósito aumentando a fricção na interface.

Segundo Laranjeiras *et al* (2003), que estudou o efeito a incorporação de uma carga mineral, bentonita sódica, não tratada e tratada com ácido clorídrico em compósitos de matriz poliéster. Apresentou resultados de impacto satisfatórios, principalmente nas cargas minerais tratadas, onde houve um aumento observado da resistência ao impacto.

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 também se mostrou viável, devido às partículas menores e as fibras com alta razão de aspecto mostrar bons desempenhos nas propriedades mecânicas, porém com a presença de partículas grosseiras diminuem a propriedade de resistência à tração, devido essas partículas grosseiras atuarem como ponto concentrador de tensão.

A morfologia das cargas empregadas apresentou 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 resistência à tração com o desempenho abaixo do que apresentou a resina pura, com resultados de até 47% de diminuição da resistência à tração. Os resultados de impacto charpy foram satisfatórios em relação à resina pura, aumentando a tenacidade ao impacto em torno de 50% com as cargas utilizadas.

Esse estudo confirmou as correlações existentes na literatura de que a utilização de cargas ou pós como reforço em matrizes dúcteis só apresentam um desempenho satisfatório quando existe um controle das partículas ou fibras utilizadas no procedimento.

6.2. SUGESTÕES PARA TRABALHOS

- Aplicar outras metodologias de confecção dos compósitos e outras maneiras de utilização das fibras cominuídas como reforço.

7. REFERÊNCIAS

ARAÚJO NETO, J. R.; CARVALHO, L. H., ARAÚJO, E. M. (2007) **“Influência da Adição de uma Carga Nanoparticulada no Desempenho de Compósitos Poliuretano/Fibra de Juta”**, Polímeros: Ciência e Tecnologia, vol. 17, nº 1, p. 10-15.

BENINI, K. C. C. C. **Desenvolvimento e caracterização de compósitos poliméricos reforçados com fibras lignocelulósicas:HIPS/fibra da casca**

do coco verde e bagaço de cana de açúcar. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2011.

BLEDZKI, A.K.; GASSAN, J. **Composites reinforced with cellulose-based fibres.** Prog. Polym. Sci, v. 24, p. 221-274, 1999.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras.** Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2006. v. 2, 627 p.

CARVALHO, P. E.R. **Mutamba *Guazuma ulmifolia*: Taxonomia e Nomenclatura.** 2007. Embrapa Florestas. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPF-2009-09/42548/1/Circular141.pdf>>. Acesado em 5 de outubro de 2016.

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>

COSTA, D. S. **Caracterização de materiais compósitos de matriz Poliéster e fibras de bambu, sisal, e vidro e híbridos bambu/sisal, bambu/vidro e sisal/vidro.** Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Pará, Pará, 2012.

COSTA, D.S. **Estudo da influência de resíduos gerados pela indústria de mineração nas propriedades de compósitos de matriz poliéster reforçados com fibras naturais.** Tese (Doutorado) – Universidade Federal do

Pará, Instituto de Tecnologia, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia, Belém, 2016.

DUTRA, Ricardo. **Beneficiamento de Minerais Industriais**. 2013 Disponível em:

<[http://www.pg.utfpr.edu.br/ppgep/anais/artigos/eng_civil/13%20BENEFICIAMENTO%20DE%](http://www.pg.utfpr.edu.br/ppgep/anais/artigos/eng_civil/13%20BENEFICIAMENTO%20DE%20)> . Acesso em: 5 out. 2016.

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.

LARANJERIAS, E.; SILVA, S.M.L; CARVALHO, L.H.; FONSECA, V.M. **Efeito da adição de carga mineral nas propriedades mecânicas de compósitos poliéster/juta**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE POLÍMEROS, 7., 2003. Curitiba. Anais... Curitiba: 2003. p. 390-391.

LASURE A.; POEL, B.V.; PIETERS, L.; CLAEYS, M.; GUPTA, M.; BERGHE, D. V.; VLIETINCK, A. J. **Complement-Inhibiting Properties of *Apeiba tibourbou***. *Planta Med*, p. 276-277, 1993.

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

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. 2. Ed. Nova Odessa, SP: Editora Plantarum, 1998. 352 p.

MALAVOLTA, E. **Manual de química agrícola: nutrição de plantas e fertilidade do solo**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1976.

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

MARTINS NETO, S.F. **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.

MATOS, V. P.; FERREIRA, E. G. B. S.; FERRIRA, R. L.C.; SENA, L. H. M.; SALES, A. G. F. A. **Effect of the Type of Packing and the Environment of Storage on the Germination and the Vigor of Apeiba tibourbou Aubl. R. *Árvore***, Viçosa-MG, v.32, n.4, p. 617-625, 2008.

NÓBREGA, M. M. S. **Compósitos de Matriz Poliéster com Fibras de Caroa *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.

OLIVEIRA, M.P. **propriedades mecânicas e térmicas dos compósitos poliméricos reforçados por fibras de bucha**. 2013. 94 p. Dissertação (mestrado em Engenharia e ciência dos materiais) – Departamento de Ciência e Tecnologia. Instituto Militar de Engenharia. Rio de Janeiro: RJ. 2013.

PAIVA, D.Q.; GARCIA, Q.S. Germinação de sementes de *Guazuma ulmifolia* Lam. (Sterculiaceae). In: CONGRESSO NACIONAL DE BOTÂNICA, 50., 1999, Blumenau. **Programas e Resumos**. Blumenau: Sociedade Botânica do Brasil.

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

RODOLFO JR., A. **Estudo da processabilidade e das propriedades de PVC reforçado com resíduos de pinus.** 2005. 247 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo: USP; UNESP. p. 23--51

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.

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

SILVA JUNIOR, L.. **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.

SILVA, A. C. **Estudo da Durabilidade de Compósitos Reforçados com Fibras de Celulose.** Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil na Área de Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo-SP, 2003.

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

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, R.V. **Compósito de resina poliuretano de óleo de mamona e fibras vegetais.** 2002. 157 f. Tese (Doutorado em ciência e Engenharia dos Materiais) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

STANDARD TEST METHOD FOR TENSILE PROPERTIES OF PLASTIC (METRIC). **ASTM D 638**, Annual Book of ASTM Standards, American Society for Testing and Materials, 1989.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA, UFSC. 2013. **Fragmentação de Sólidos.** Disponível em: <http://www.enq.ufsc.br/muller/operacoes_unitarias_qm/fragmentacao_de_solidos.pdf>. Acesso em: 5 out. 2016. Universidade Regional de Blumenau, 1999. p.130.

VALADÃO, G.E.S; ARAUJO, A.C. **Introdução ao tratamento de minérios.** Belo Horizonte: UFMG, 2007. 234 p.

Willian D. Callister, JR., **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma introdução.**
Editora LTC, São Paulo, SP. 2007.